Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikums-Termine

WS 2013/2014

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Elektronik 1

BT:

Gruppe 1 (Do. 2. und 3. Viertel):	26.09.	16.10.	31.10.	14.11.	28.11.	12.12.
Gruppe 2 (Do. 2. und 3. Viertel):	10.10.	23.10.	07.11.	21.11.	05.12.	19.12.
Gruppe 3 (Mo. 4. und 5. Viertel):	30.09.	14.10.	28.10.	11.11.	25.11.	09.12.

Achtung: ***Feiertagsbedingt ergeben sich Abweichungen vom 14-tägigen Rhythmus!***

Die Gruppe 3 wird nur bei Bedarf angeboten.

MT:

Gruppe 1 (Mo. 1. und 2. Viertel):	30.09.	14.10.	28.10.	11.11.	25.11.	09.12.
Gruppe 2 (Mo. 1. und 2. Viertel):	07.10.	21.10.	04.11.	18.11.	02.12.	16.12.
Gruppe 3 (Mo. 4. und 5. Viertel):	07.10.	21.10.	04.11.	18.11.	02.12.	16.12.

Die Gruppe 3 wird nur bei Bedarf angeboten.

UT:

Gruppe 1 (Mi. 1. und 2. Viertel):	02.10.	16.10.	30.10.	13.11.	27.11.	11.12.
Gruppe 2 (Mi. 1. und 2. Viertel):	09.10.	23.10.	06.11.	20.11.	04.12.	18.12.

Elektronik 2

UT:

Gruppe 1 (Mi. 4. und 5. Viertel):	02.10.	16.10.	30.10.	13.11.	27.11.	11.12.
Gruppe 2 (Mi. 4. und 5. Viertel):	09.10.	23.10.	06.11.	20.11.	04.12.	18.12.

Gruppe: _____

Platz-Nr.: _____

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Richtlinien zur Durchführung des Elektronik 1-Praktikums

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

1. VORAUSSETZUNGEN:

Zur Teilnahme am Elektronik 1 – Praktikum ist ein bestandenes Eingangskolloquium erforderlich. Dieses Kolloquium wird Ihnen erlassen, wenn Sie eine bestandene Elektrotechnik 1 – Klausur vorweisen können. Zusätzlich sind eine Anmeldung über die Homepage des Labors für Umwelttechnik und Elektronik sowie die persönliche Anwesenheit bei der Praktikumseinteilung erforderlich.

2. SICHERHEITSRICHTLINIEN

An den Arbeitsplätzen im Labor sind offene Getränke und Nahrungsmittel verboten.

Studierende dürfen nur an Gleichspannungen bis 25 V oder Wechselspannungen bis 20 V_{eff} arbeiten. Zuwiderhandlungen gegen diese Vorschrift (z.B. eigenmächtiges Erproben der Messgeräte an Netzspannung) führen zum Ausschluss vom Praktikum.

Die Inbetriebnahme von Schaltungen ist nur nach Freigabe durch einen Praktikumsbetreuer zulässig. Geräte (z.B. Messgeräte, Stromversorgungen, Signalgeneratoren) dürfen ebenfalls nur mit Kenntnis der Betriebsanleitung und nach Kurzeinweisung durch einen Praktikumsbetreuer in Betrieb genommen werden.

3. ALLGEMEINES

Pünktliches Erscheinen wird vorausgesetzt. Bei Verspätungen von mehr als 15 Minuten kann der Versuch leider nicht mehr am jeweiligen Versuchstag durchgeführt werden.

Sollten Sie verhindert sein, so teilen Sie dies bitte rechtzeitig vor Praktikumsbeginn – am Besten per Email – mit, damit Ihre Kommilitonen nicht unnötig auf Sie warten müssen. Vereinbaren Sie unaufgefordert einen Ersatztermin mit Ihren Betreuern, vorzugsweise via Email.

Eigentlich selbstverständlich - hinterlassen Sie Ihren Arbeitsplatz in einem aufgeräumten Zustand. Geräte und PCs sind auszuschalten, Kabel und Bauelemente gehören wieder an ihren Herkunftsort.

4. VERSUCHSVORBEREITUNG

An 6 Versuchstagen absolvieren Sie 6 Versuche. Vor bzw. während des Versuchs findet ein Gespräch oder ein schriftliches Testat über den Versuch statt. Diese Eingangsprüfung soll Ihnen zeigen, ob Sie sich die Grundlagen und den Versuchsablauf ausreichend erarbeitet haben oder noch Lücken zu füllen sind. Einige Fragen werden erst während der Versuchsdurchführung oder erst bei der Anfertigung der schriftlichen Ausarbeitung deutlich werden. Das ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass sich jeder Studierende mit der Theorie des Versuches vorher beschäftigen muss, um zu wissen, worum es geht.

Nutzen Sie die Bibliothek und klären Sie die Grundlagen mit Hilfe der im Kapitel „Vorbereitung“ der Versuchsunterlagen genannten Stichworte. Machen Sie sich mit Hilfe

der Bedienungsanleitungen, die Sie auf der Homepage des Labors unter „Links“ finden, mit den verwendeten Geräten vertraut. Machen Sie sich anhand der ebenfalls auf der Homepage des Labors unter „Links“ zu findenden Datenblätter insbesondere mit den Kenndaten und Grenzwerten der Bauelemente vertraut.

Gegebenenfalls sind Vorberechnungen und Herleitungen zu den Versuchen durchzuführen, die Sie während des Versuches zur Kontrolle Ihrer Messungen benötigen. Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse anhand von Literaturangaben auf Plausibilität.

Sollte die Vorbereitung nicht ausreichend zum Verständnis des Versuches sein, führt dies zum Abbruch des Versuchstages; sie erhalten einmalig einen Ersatztermin. Erneute unzureichende Vorbereitung führt zum Ausschluss vom Praktikum.

5. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Durchführung der Versuche hat unter Berücksichtigung der unter 2. genannten Sicherheitsrichtlinien zu erfolgen.

Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse auf Plausibilität, vergleichen Sie hierzu Ihre Messwerte z.B. mit Ihren Berechnungen aus der Vorbereitung oder den Kenndaten der Bauelemente aus den Datenblättern. Bevor Sie den Versuch abbauen oder umbauen, lassen Sie die Messwerte von den Praktikumsbetreuern kontrollieren.

Am Ende des Versuchstages besprechen Sie die Ergebnisse mit Ihren Praktikumsbetreuern und lassen Sie sich Ihr Testatblatt abzeichnen.

6. VERSUCHSNACHBEREITUNG

Zu jedem Versuch ist ein Ergebnisprotokoll zu erstellen. Stellen Sie hierbei Ihre theoretisch erwarteten Werte, Messwerte sowie mögliche Messunsicherheiten und Messfehler gegenüber, bewerten Sie Ihre Ergebnisse und kommentieren Sie Ihre Schlussfolgerungen.

Als Leitfaden können die zu einem Teil der Versuche vorhandenen Auswertungshilfen genutzt werden.

Die schriftlichen Ausarbeitungen sind spätestens 14 Tage nach der Versuchsdurchführung abzugeben. Eventuelle Korrekturen sind ebenfalls binnen 14 Tagen zu erledigen.

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Werteblatt

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Versuch 1 – Widerstandswerte zu Aufgabe 2

Gruppe	R_1	R_2	R_3
1	100 Ω	68 Ω	130 Ω
2	91 Ω	68 Ω	91 Ω
3	91 Ω	68 Ω	130 Ω
4	130 Ω	91 Ω	56 Ω
5	56 Ω	47 Ω	130 Ω
6	110 Ω	47 Ω	130 Ω
7	100 Ω	47 Ω	91 Ω
8	130 Ω	56 Ω	110 Ω
9	130 Ω	68 Ω	130 Ω

Versuch 3 – Werte zu Hoch- und Tiefpass

Gruppe	R	C	Platinen-Nr.
1	2,1 kΩ	47 nF	1
2	1,3 kΩ	22 nF	2
3	3 kΩ	68 nF	3
4	2,1 kΩ	68 nF	4
5	1,5 kΩ	47 nF	5
6	1,2 kΩ	68 nF	6
7	3 kΩ	22 nF	7
8	820 Ω	100 nF	8
9	2,7 kΩ	10 nF	9

Versuch 6 – Teil 2 – Spannungssollwerte LM317

Gruppe	U	R_1
1	3,8 V	240 Ω
2	5,5 V	240 Ω
3	4,7 V	240 Ω
4	3,1 V	240 Ω
5	6,5 V	240 Ω
6	3,3 V	240 Ω
7	4,9 V	240 Ω
8	6,8 V	240 Ω
9	6,7 V	240 Ω

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 1

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Widerstandsnetzwerke

Lernziel

Bei diesem Versuch beschäftigen Sie sich mit Widerstandsnetzwerken und ihren Zweipolkennlinien. Außerdem machen Sie sich mit dem Digitalvoltmeter (DV) vertraut.

Vorbemerkung

Für die grafischen Darstellungen benutzen Sie bitte Millimeterpapier oder ein geeignetes Computerprogramm (z.B. MS Excel, Open Office Calc). Wählen Sie selbst einen geeigneten Maßstab**.**

Es werden nur sauber gezeichnete Grafiken anerkannt, die in Größe und Maßstab mindestens der Genauigkeit der Messung entsprechen!!

Vorbereitung

Machen Sie sich anhand des im Anhang befindlichen Leitfadens und der auf der Laborhomepage verfügbaren Gerätemanuals mit der Strom- und Spannungsmessung vertraut. Sie sollten insbesondere wissen, welche Sicherheitsregeln einzuhalten sind, wie die Geräte anzuschließen sind und welche Messabweichungen durch Anschluss des Gerätes auftreten können. Weiterhin sollten sie die Eigenschaften von Widerstandsnetzwerken sowie Aufbau und Funktion eines Potentiometers kennen. Sie sollen Begriffe wie

- Leerlaufspannung (U_o)
- Innenwiderstand (R_i)
- Kurzschlussstrom (I_K)
- Leistungsanpassung
- stromrichtige / spannungsrichtige Messung

erklären können.

- Leiten Sie die Gleichungen (2) und (3) her! (Machen Sie sich den Unterschied zwischen U_o und U_e klar)
- Berechnen Sie zu Aufgabe 1 die theoretische (th.) Spannung U_a am Lastwiderstand R_L sowie die Innenwiderstände R_i des Spannungsteilers für die in Tabelle 1 angegebenen Lastwiderstände und Einstellungen des Spannungsteilers (k)
- Bestimmen Sie U_0, R_i und I_K des Netzwerkes in Aufgabe 2. Die Widerstandswerte entnehmen Sie bitte dem am Tag der Versuchseinteilung ausgeteilten Gruppenblatt.

Aufgaben

Aufgabe 1 Belasteter Spannungsteiler

In dieser Aufgabe errechnen und messen Sie die Ausgangsspannung eines belasteten Spannungsteilers bei unterschiedlicher Belastung. Der Spannungsteiler wird in diesem Versuch durch ein Potentiometer mit einem Gesamtwiderstand von **1kΩ** realisiert.

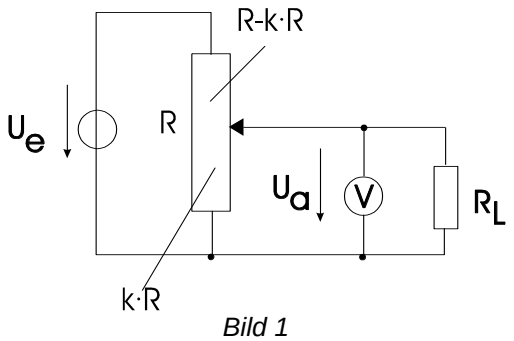


Bild 1

Theorie

Die Ausgangsspannung des unbelasteten Spannungsteilers ($R_L \rightarrow \infty$) ist proportional zur Stellung des Abgriffs:

$$U_a = k \cdot U_e \qquad (1)$$

Version 1.7
Stand WS 2011 / 2012

Wird der Ausgang des Spannungsteilers mit einem Widerstand R_L belastet, so sinkt die Ausgangsspannung ab. Das Ausmaß des Spannungsrückganges ist abhängig vom Verhältnis R/R_L und der Stellung des Spannungsabgriffs k. Man erhält als Ausgangsspannung U_a eines belasteten Spannungsteilers:

$$U_a = U_e \cdot \frac{k}{1 + k(1-k) \cdot \frac{R}{R_L}} \qquad (2)$$

Bestimmt man für den belasteten Spannungsteiler den Innenwiderstand R_i, so kann man das Ersatzschaltbild (Bild 2) erstellen

$R_i = R \cdot k \cdot (1-k)$ (3)

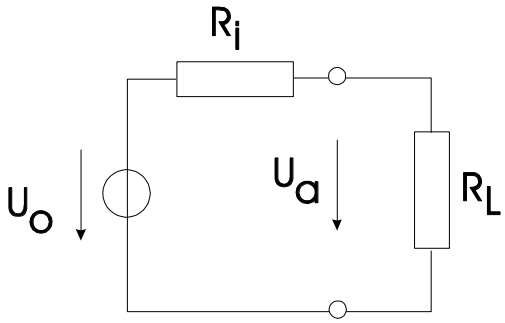


Bild 2

Versuchsdurchführung

- Bauen Sie die Schaltung entsprechend Bild 1 auf! (Eingangsspannung 10,00 V)
- Messen Sie die Spannung U_a am Lastwiderstand R_L für die in der Tabelle angegebenen Einstellungen des Spannungsteilers (k) und des Lastwiderstands und vergleichen Sie sie mit Ihren berechneten Werten. Stellen Sie die Werte grafisch dar.
- Berechnen Sie den Innenwiderstand R_i in Abhängigkeit von k. Stellen Sie die Werte ebenfalls grafisch dar und diskutieren Sie die Kurvenschar.
- Berechnen Sie die relative Abweichung zwischen den theoretischen und den gemessenen Werten. Nennen Sie mögliche Fehlerquellen, schätzen Sie deren Größe ab und beurteilen Sie die Qualität Ihrer Messergebnisse.

Spannung U_a in Volt, gemessen (DV) und gerechnet (th.), R_i in Ohm

R_L \ k		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
∞	DV										
	th.										
	R_i										
2,2 kΩ	DV										
	th.										
1 kΩ	DV										
	th.										
470 Ω	DV										
	th.										
220 Ω	DV										
	th.										
100 Ω	DV										
	th.										

Tabelle 1

Aufgabe 2 Gleichstromnetzwerk

Bei diesem Versuch sollen Sie die Eigenschaften eines linearen Netzwerkes untersuchen.

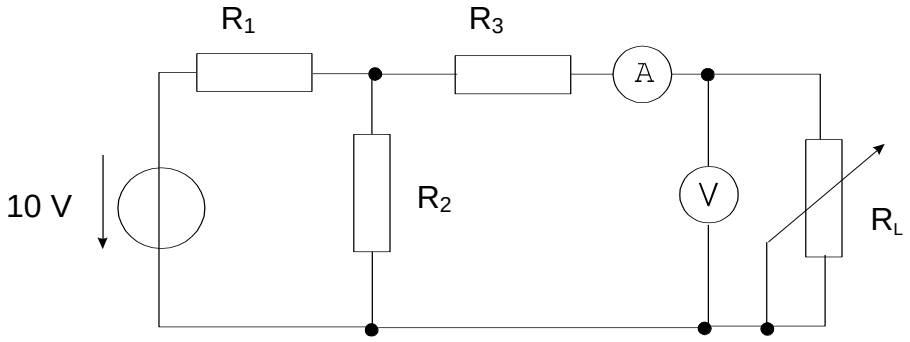


Bild 3

- Bauen Sie die Schaltung gemäß Bild 3 auf.
- Stellen Sie R_L zwischen 0 Ω und 1 kΩ auf ca. 15 verschiedene Werte ein und messen Sie jeweils Strom und Spannung. Überlegen Sie sich **vorher** den **qualitativen** Verlauf von Strom, Spannung und Leistung. Wählen Sie die Abstände der Werte so, dass das Maximum der Leistungskurve erfasst wird. (Wo liegt es?).

R_L / Ω															
U / V															
I / mA															
P / mW															

- Tragen Sie die Werte in ein Spannungs-, Strom-Diagramm ein (Spannung: Abszisse, Strom: Ordinate)
- Bestimmen Sie aus der Kennlinie die Leerlaufspannung U_0, den Kurzschlussstrom I_K und berechnen Sie den Innenwiderstand $R_i = U_0 / I_K$.
  Stimmen die Werte mit den in der Vorbereitung bestimmten Werten überein?
- Berechnen Sie die im Lastwiderstand umgesetzte elektrische Leistung P.
- Zeichnen Sie U, I und P in Abhängigkeit von R_L in ein Diagramm und diskutieren Sie die Kurven.
- Berechnen Sie die relative Abweichung zwischen den theoretischen und den gemessenen Werten. Nennen Sie mögliche Fehlerquellen, schätzen Sie deren Größe ab und beurteilen Sie die Qualität Ihrer Messergebnisse.
- Welchen Einfluss haben die Messgeräte? Erfolgt die Messung stromrichtig oder spannungsrichtig bzgl. der Last?

Geräteliste

Potentiometer 1kΩ
div. Widerstände unterschiedlicher Toleranz
Klemmbrett
Labornetzgerät Hameg HM7042-5
Digitalmultimeter Fluke Modell 83/V, 87/III oder 179
Digitalmultimeter Hameg HM8012

Literaturhinweise und interessante Weblinks

Tietze/Schenk
Halbleiterschaltungstechnik
Springer Verlag
ISBN 3-540-42849-6

E. Hering
K. Bressler
J. Gutekunst
Elektronik für Ingenieure
Springer Verlag
ISBN 3-540-24309-7

J.-C. Böhmke
Das Multimeter – ein Leitfaden zur Messung von Spannungen und Strömen
Siehe Anhang

Folgende Gebrauchsanleitungen finden Sie auf der Laborhomepage:

Fluke Multimeter Typ 83/V, 87/III, 179
Hameg Labornetzgerät HM7042-5
Hameg Multimeter HM8012

Weblinks

http://de.wikipedia.org/wiki/Potentiometer

Diese Seite beschäftigt sich mit dem Aufbau verschiedener Potentiometertypen. Die englische Version ist ausführlicher und beschäftigt sich mehr mit dem Aufbau und der Anwendung sowie der Theorie.

http://en.wikipedia.org/wiki/Potentiometer

Englische Version von Wikipedia, der freien Enzyklopädie. Diese Seite beschäftigt sich ausführlich mit verschiedenen Potentiometertypen, ihrem Aufbau und ihrer Anwendung sowie dem Problem des belasteten Spannungsteilers.

http://sound.westhost.com/pots.htm

Englischsprachige Website, die sich mit Aufbau und Anwendung von verschiedenen Potentiometertypen beschäftigt. Viele Praxisbeispiele für Anwendungen im Audiobereich.

1. Spannungsmessung

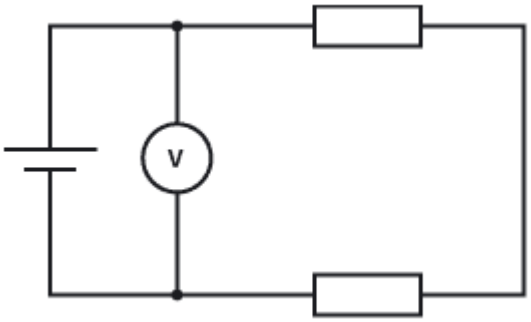


Abbildung 1: Messung an einer Quelle

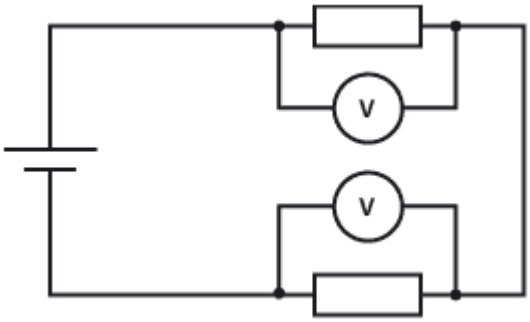


Abbildung 2: Messung an einem Verbraucher

Das Spannungsmessgerät oder Voltmeter wird mit den zwei Punkten einer Schaltung verbunden, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll. Der Anschluss des Messgerätes erfolgt also immer parallel zum zu messenden Objekt. Bei der Messung an einer Spannungsquelle, wie in Abbildung 1 gezeigt, wird die momentane *Klemmenspannung* gemessen; am Verbraucher wird, wie in Abbildung 2 gezeigt, der *Spannungsabfall* an dem jeweiligen Bauelement gemessen. Der Anschluss des Messgerätes kann für kurze Tests mit Prüfspitzen geschehen, ohne dass dazu in die Schaltung eingegriffen werden muss. Daher ist die Spannungsmessung die häufigste Form der elektrischen Kontrolle. Strommesswerte können oft indirekt aus einer Spannungsmessung gewonnen werden, wenn der Wert des Widerstandes R bekannt ist, über dem gemessen wird (ohmsches Gesetz: Stromstärke I = U/R mit U = gemessene Spannung).

1.1 Durchführung der Spannungsmessung

Vor der Spannungsmessung sind folgende Hinweise zu beachten:

1. Die Messleitungen müssen an die richtigen Eingänge des Messgeräts angeschlossen werden
2. Die richtige Spannungsart muss ausgewählt werden (AC/DC).
3. Bei Gleichspannung (DC) muss die Polarität beachtet werden.
4. Der richtige Messbereich muss eingestellt werden.
5. Bei einem unbekannten Messwert muss der größte Messbereich eingestellt und langsam in die niedrigeren Messbereiche geschaltet werden.
6. Der Messbereich muss möglichst so eingestellt werden, dass der Zeigerausschlag im letzten Drittel abgelesen werden kann. Ebenso sollte auch die Messung mittels eines digitalen Messgerätes erfolgen – hier markiert bei vielen Geräten eine Balkenanzeige die Nutzung des Messbereichs (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Visualisierung der Messbereichsnutzung durch eine Balkenanzeige

Die Hinweise zur Wahl des Messbereichs gelten in der Regel nur bei analogen Messgeräten. Digitale Multimeter stellen diese Werte bei korrekter Konfiguration (Messbereichswahl auf Automatik) selbständig ein. Sie müssen nur auf Spannungsmessung und die richtige Spannungsart (Gleich-, Wechsel- oder Mischspannung) eingestellt sein. Ferner muss der korrekte Anschluss der Messleitungen überprüft werden (vergl. Abbildung 4)

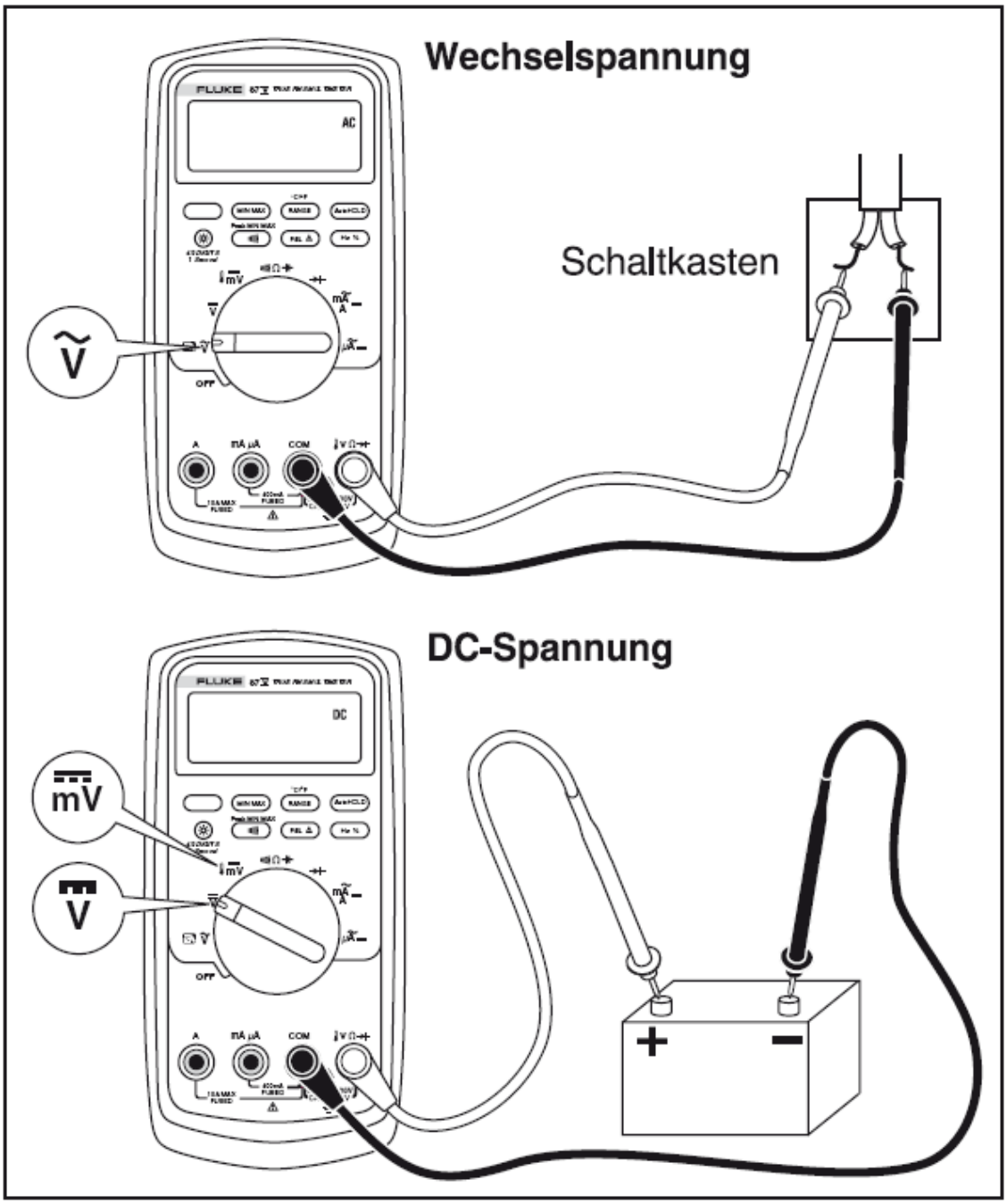


Abbildung 4: Spannungsmessung mit dem Fluke 83 – Multimeter (Quelle: Fluke)

1.2 Rückwirkung der Spannungsmessung

Das Spannungsmessgerät besteht aus dem eigentlichen Messwerk bzw. der Messelektronik und gegebenenfalls einem Vorwiderstand oder Spannungsteiler zur Anpassung des Messbereiches. Um die zu messende Schaltung nicht zu beeinflussen, sollte der Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts möglichst hochohmig sein. Ideal wäre ein unendlich hoher Innenwiderstand.

Die im Praktikum verwendeten Multimeter vom Typ Fluke 83 verhalten sich bei der Spannungsmessung ähnlich wie eine parallelgeschaltete 10-MΩ-Impedanz (10.000.000 Ω).

Obwohl es sich hierbei um sehr hochwertige und damit verhältnismäßig hochohmige Geräte handelt, kann es bei der Messung an hochohmigen Schaltungen zu Messfehlern kommen, da ein kleiner Messstrom durch den Innenwiderstand des Voltmeters fließt.

Dieser Belastungseffekt kann wie im folgenden Beispiel gezeigt berechnet werden:

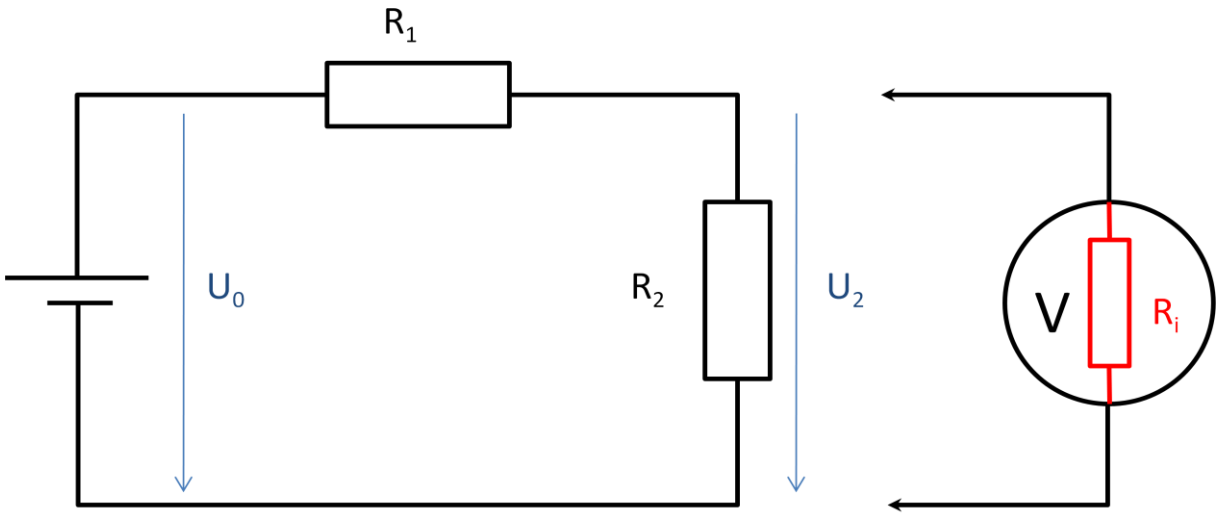


Abbildung 5: Schaltungsbeispiel zur Rückwirkung

Es soll in der in Abbildung 5 gezeigten Schaltung die an R_2 abfallende Spannung U_2 gemessen werden. Die Quelle von U_0 habe als ideale Spannungsquelle den Quellenwiderstand null, U_0 = 12V, $R_1 = R_2$ = 510 kΩ. Somit beträgt der Spannungsabfall U_2 an R_2 nach Spannungsteilerregel

$$U_2 = U_0 * \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12\,V * \frac{510\,k\Omega}{510\,k\Omega + 510\,k\Omega} = 6\,V$$

Zur Vereinfachung wird die Schaltung nun in die in Abbildung 6 gezeigte Ersatzquelle umgewandelt, wobei $R_Q = R_1 \parallel R_2$ den Ersatzinnenwiderstand der Schaltung darstellt.

Die in Abbildung 6 gezeigte Schaltung ist elektrisch gleichwertig zur Schaltung in Abbildung 5.

Wird daran das Messgerät angeschlossen, so erhält man statt U_2 einen kleineren Messwert U_m , weil R_q und der Innenwiderstand des Messgerätes R_i einen Spannungsteiler bilden. Durch den fließenden Messstrom entsteht ein Spannungsabfall U_{Fehler} an R_q. Die Spannung wird also zu klein angezeigt.

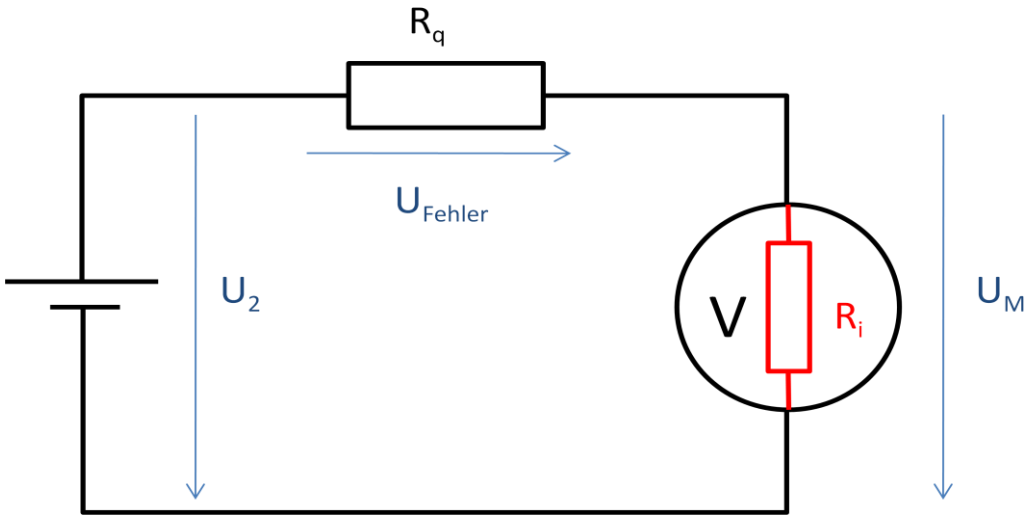


Abbildung 6: Ersatzquelle

Die dadurch entstehende Rückwirkungsabweichung beträgt, angegeben als relative Messabweichung f

$$f = \frac{U_m - U_2}{U_2} = \frac{-U_{Fehler}}{U_2} = \frac{-U_{Fehler}}{U_{Fehler} + U_m} = \frac{-R_q}{R_q + R_i}$$

Somit folgt für unser Beispiel:

$$R_q = R_1 || R_2 = 510\ k\Omega\ ||510\ k\Omega = 255\ k\Omega$$

Der relative Messfehler beträgt somit

$$f = \frac{-R_q}{R_q + R_i} = \frac{-255\ k\Omega}{255\ k\Omega + 10\ M\Omega} = -0{,}0249 = -2{,}49\%$$

Somit wird vom Messgerät statt der Spannung U_2 = 6 V die Spannung U_M = 5,85 V angezeigt!

Anhand der Fehlerabschätzung lässt sich für die im Praktikum verwendeten Multimeter folgende Faustformel ableiten:

In den meisten Fällen ist der Rückwirkungseinfluss der Spannungsmessung vernachlässigbar (0,1 % oder weniger), wenn die Impedanz des Schaltkreises 10 kΩ (10.000 Ω) oder weniger beträgt.

2. Strommessung

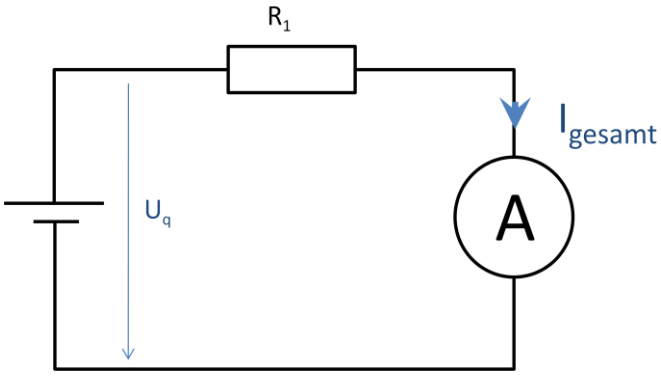


Abbildung 7: Messung des Gesamtstroms

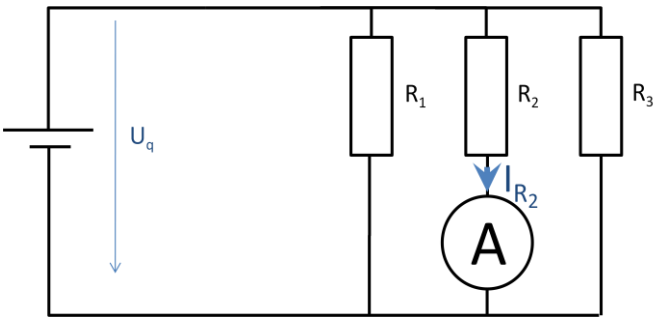


Abbildung 8: Messung des Stroms durch R_2

Zur *direkten* Strommessung muss der zu messende Strom durch das Messgerät fließen. Das Messgerät wird daher zum Messobjekt in Reihe geschaltet (siehe Abb. 7 und 8) und muss während der Messung ständig eingebaut sein. Zum Ein- oder Ausbau des Strommessgerätes muss der Stromkreis abgeschaltet und aufgetrennt werden. Die Messung erfordert somit einen Eingriff in die zu untersuchende Schaltung und in dieser Zeit eine Unterbrechung des Stromflusses.

Abbildung 9: Indirekte Strommessung mit Zangenamperemeter

Die Unterbrechung des Stromflusses stellt in der Praxis z.B. für Energieversorger oftmals ein Problem dar. Daher sollen folgende *indirekte* Messmöglichkeiten nicht unerwähnt bleiben:

Wenn ein bekannter Widerstand R im Stromkreis liegt, kann man mit einem Spannungsmessgerät die Spannung U über dem Widerstand messen und den Strom I gemäß I = U / R ausrechnen.

Ist eine einzelne stromführende Leitung (kein Kabel mit Hin- und Rückleiter) zugänglich, verwendet man ein Messgerät, welches das vom Stromfluss verursachte magnetische Feld erfasst (Zangenstrom-messer Abb. 9, Rogowskispule).

Bei der Anwendung dieser Verfahren treten jedoch in der Praxis häufig Probleme auf. So kann sich z.B. bei der indirekten Messung über den Spannungsabfall am Lastwiderstand selbiger aufgrund von Alterung oder Verschleiß verändert haben. Bei der Messung mit Hilfe des Zangenstrommessers ist der Einfluss der Magnetfelder benachbarter stromdurchflossener Leiter zu berücksichtigen. Ferner ist die exakt senkrechte Ausrichtung der Zange zum Leiter für eine genaue Messung erforderlich.

Daher sollte - sofern durchführbar - der direkten Strommessung der Vorzug gegeben werden!

2.1 Durchführung der direkten Strommessung

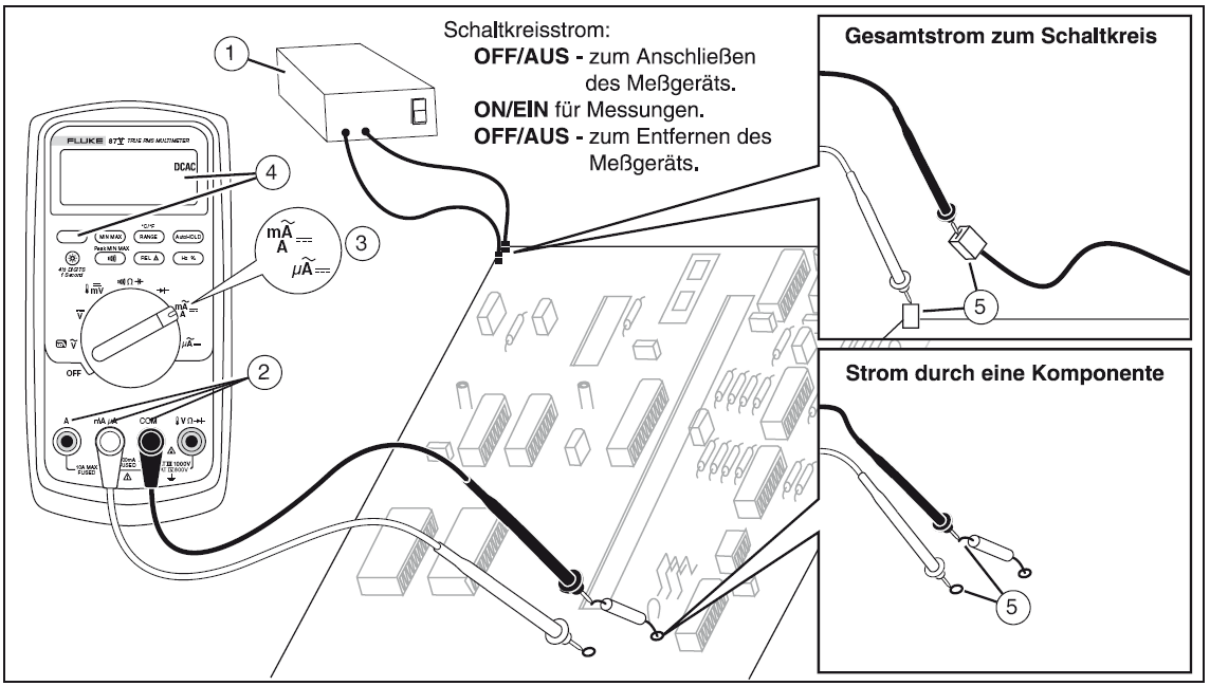


Abbildung 10: Durchführung der direkten Strommessung (Quelle: Fluke)

Vor der Strommessung sind folgende Hinweise zu beachten (vergl. Abb. 10):

1. **Vor dem Einbau des Messgerätes Spannungsquelle abschalten! In der Schaltung ggf. vorhandene Kondensatoren sind zu entladen.**
2. Die Messleitungen müssen an die richtigen Eingänge angeschlossen werden. Die Wahl der richtigen Eingänge ist bei vielen Geräten messbereichsabhängig! Bei den im Praktikum verwendeten Handmultimetern die schwarze Messleitung in die **COM** - Buchse einführen. Für Stromstärken unter 400 mA die rote Messleitung in die **mA / A -** Buchse stecken.
   Für Stromstärken über 400 mA oder bei unbekannten Stromstärken die rote Messleitung in die A - Buchse stecken.
3. Der richtige Messbereich muss eingestellt werden. Bei Benutzung der A - Buchse den Drehschalter auf mA / A schalten. Bei Benutzung des mA / µA - Anschlusses den Drehschalter auf µA für Stromstärken von weniger als 6000 µA (6 mA) oder auf mA / A für Stromstärken über 6000 µA schalten.
4. Die richtige Stromart auswählen (AC/DC).
5. Den zu testenden Stromkreis öffnen und das Messgerät in Reihe zu den stromführenden Bauteilen schalten. Mit der schwarzen Messsonde die negative Seite, mit der roten Messsonde die positive Seite der Unterbrechung berühren.
6. Die Stromversorgung der Schaltung einschalten; dann die Anzeige ablesen. Den Wert und auch die rechts in der Anzeige angezeigte Einheit notieren (µA, mA oder A).

7. **WICHTIG: Wenn das Gerät den Messwert 0 anzeigt und die Schaltung korrekt angeschlossen und in Betrieb genommen wurde, wenden Sie sich bitte zur Überprüfung des Gerätes an Ihren Betreuer.**
8. Die Stromversorgung der Schaltung ausschalten, und alle Kondensatoren entladen. Das Messgerät entfernen, und die Schaltung wieder in Betrieb nehmen.

2.2 Rückwirkung der Strommessung

Das Strommessgerät besteht aus einem niederohmigen Präzisionswiderstand, auch Shunt-Widerstand oder Messshunt genannt, und einem Spannungsmessgerät. Um die zu messende Schaltung nicht zu beeinflussen, sollte der Innenwiderstand des Strommessgeräts im Idealfall unendlich klein sein.

In der Realität wird der Innenwiderstand des Messgerätes jedoch durch den verwendeten Shuntwiderstand vorgegeben. Dieser ist meistens messbereichsabhängig und kann dem Datenblatt des Messgerätes entnommen werden. Hier wird er häufig als Bürdenspannung bezeichnet und in V / A angegeben.

Messbereich	Bürdenspannung	Äquivalenter Innenwiderstand
600,0 µA	100 µV / µA	100 Ω
6000 µA	100 µV / µA	100 Ω
60,00 mA	1,8 mV / mA	1,8 Ω
400 mA	1,8 mV / mA	1,8 Ω
6,000 A	0,03 V / A	30 mΩ
10,00 A	0,03 V / A	30 mΩ

Tabelle 1: Bürdenspannungen der Fluke-Handmultimeter (Quelle: Fluke)

Auch hier besteht eine Rückwirkung auf die Schaltung durch das Messgerät. Ein Rechenbeispiel soll dies verdeutlichen:

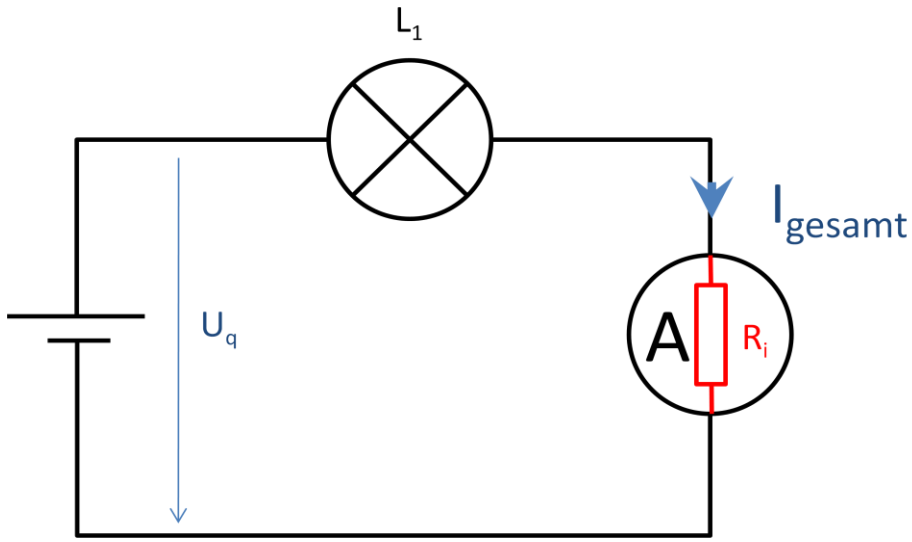


Abbildung 11: Rückwirkung auf die Gesamtstrommessung an einer Taschenlampe

Die Schaltung in Abbildung 11 stellt die Gesamtstrommessung an einer Taschenlampe dar. Die Quellenspannung beträgt 3 V, der Widerstand der Glühlampe L_1 betrage 600 Ω.

Die Schaltung wird zunächst ohne Messgerät betrieben, es fließt folglich ein Strom I_0 von

$$I_0 = \frac{U}{R_{Lampe}} = \frac{3\ V}{600\ \Omega} = 5{,}00\ mA$$

Nun wird das Messgerät in die Schaltung integriert. Aufgrund des niedrigen Stroms wird das Messgerät bei automatischer Messbereichswahl den Messbereich bis 6000 µA wählen, es weist in diesem Fall also gemäß Tabelle 1 einen Innenwiderstand R_i von 100 Ω auf. Der nun fließende Strom I_{Mess} beträgt folglich

$$I_{Mess} = \frac{U}{R_{Lampe} + R_i} = \frac{3\ V}{600\ \Omega\ + 100\ \Omega} = 4{,}29\ mA$$

Die dadurch entstehende relative Messabweichung f beträgt dementsprechend

$$f = \frac{I_{mess} - I_0}{I_0} = \frac{4{,}29\ mA - 5{,}00\ mA}{5{,}00\ mA} = -0{,}143 = -14{,}3\ \%$$

Durch den Einbau des Messgerätes wird der Strom I_0 also um mehr als 14 % verringert!

Wie stark dieser Einfluss jedoch auch vom Messbereich abhängt, soll ein weiteres Rechenbeispiel zeigen. Die Glühlampe L_1 wurde nun durch ein leistungsstärkeres Modell ersetzt, ihr Widerstand betrage nun 200 Ω. Der Strom I_0 beträgt folglich

$$I_0 = \frac{U}{R_{Lampe}} = \frac{3\ V}{200\ \Omega} = 15{,}00\ mA$$

Wieder wird das Messgerät in die Schaltung integriert. Das Messgerät wählt nun des Messbereich bis 60 mA, der Innenwiderstand beträgt somit gemäß Tabelle 1 R_i =1,8 Ω. Der nun fließende Strom I_{Mess} beträgt folglich

$$I_{Mess} = \frac{U}{R_{Lampe} + R_i} = \frac{3\ V}{200\ \Omega\ + 1{,}8\ \Omega} = 14{,}87\ mA$$

Die dadurch entstehende Rückwirkungsabweichung beträgt, angegeben als relative Messabweichung f

$$f = \frac{I_{mess} - I_0}{I_0} = \frac{14{,}87\ mA - 15{,}00\ mA}{15{,}00\ mA} = -0{,}9\ \%$$

Anhand der Fehlerabschätzung lässt sich für die im Praktikum verwendeten Multimeter folgende Faustformel ableiten:

In den meisten Fällen ist der Rückwirkungseinfluss der Strommessung vernachlässigbar (0,1 % oder weniger), wenn die Impedanz des Schaltkreises

bei Strömen < 6 mA	*100 kΩ (100.000 Ω) oder mehr*
bei Strömen > 6 mA und <400 mA	*1,8 kΩ (1.800 Ω) oder mehr*
bei Strömen > 400 mA	*30 Ω oder mehr*

beträgt.

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Das Oszilloskop - Einführung in die Messpraxis

Lernziel

Im Rahmen dieses Versuches sollen Sie sich mit der Wechselspannungmessfunktion eines Digitalmultimeters sowie der Bedienung des Oszilloskops TDS 2002C und des Frequenzgenerators vertraut machen. Sie üben die zeitlich aufgelöste Darstellung einer Spannung u(t) und vertiefen die Begriffe Amplitude ($\hat{u}$), Spitzen-Spitzen-Wert (u_{ss}) und Effektivwert (u_{eff}). Außerdem erlernen Sie die Anwendung und den Abgleich eines Tastkopfes.

Vorbemerkung

Alle Wechselspannungswerte sind, sofern nicht besonders gekennzeichnet, als Effektivwerte angegeben.

Im Praktikum werden zur Vereinfachung der Verkabelung an den BNC-Buchsen der Geräte Adapter verwendet. Hierbei sind der rote Anschluss des Adapters mit dem Innenleiter der BNC-Buchse und der schwarze Anschluss mit dem Außenleiter der BNC-Buchse verbunden.

Führen Sie eine sinnvolle Dokumentation Ihrer Beobachtungen durch. Notieren Sie insbesondere die gewählten Einstellungen für Zeitbasis, Empfindlichkeit und Triggerpegel.

Vorbereitung

Zur Vorbereitung arbeiten Sie bitte den im Anhang befindlichen Leitfaden „Das Oszilloskop – Theorie und Anwendung“ sowie die Gebrauchsanleitung des Oszilloskops TDS 2002C durch. Sie sollen Begriffe wie

- Empfindlichkeit
- Kopplung
- Eingangsimpedanz
- Zeitbasis
- Triggerung
- Bandbreite
- Tastkopf

erklären können. Informieren sie sich weiterhin über die Begriffe:

- Amplitude
- Spitzen-Spitzen-Wert
- Effektivwert (Warum wird dieser Wert benötigt? Welche allgemeine Formel gilt?)
- Effektivwert eines sinusförmigen Signals (Welche spezielle Formel gilt?)
- AC, DC
- Offset

Berechnen Sie die theoretischen Effektivwerte zu Aufgabe 1, Tab.1 und zu Aufgabe 2, Tab. 2.

Entnehmen Sie den nachstehenden Spezifikationen des Multimeters, bis zu welcher Frequenz der Effektivwert eines Sinussignals mit einem Effektivwert von 10 V verlässlich gemessen wird.

Funktion	Bereich	Auflösung	Genauigkeit		
			50 Hz - 60 Hz	30 Hz - 1 kHz	1 kHz - 5 kHz
$\tilde{V}$[1]	600,0 mV	0,1 mV	± (0,5 % + 4)	± (1,0 % + 4)	± (2,0 % + 4)
	6,000 V	0,001 V	± (0,5 % + 2)	± (1,0 % + 4)	± (2,0 % + 4)
	60,00 V	0,01 V	± (0,5 % + 2)	± (1,0 % + 4)	± (2,0 % + 4)
	600,0 V	0,1 V	± (0,5 % + 2)	± (1,0 % + 4)	± (2,0 % + 4)[2]
	1000 V	1 V	± (0,5 % + 2)	± (1,0 % + 4)	unspezifiziert

1. Einen Wert von 10 bei Ablesungen von weniger als 200 hinzufügen.
2. Frequenzbereich: 1 kHz bis 2,5 kHz.

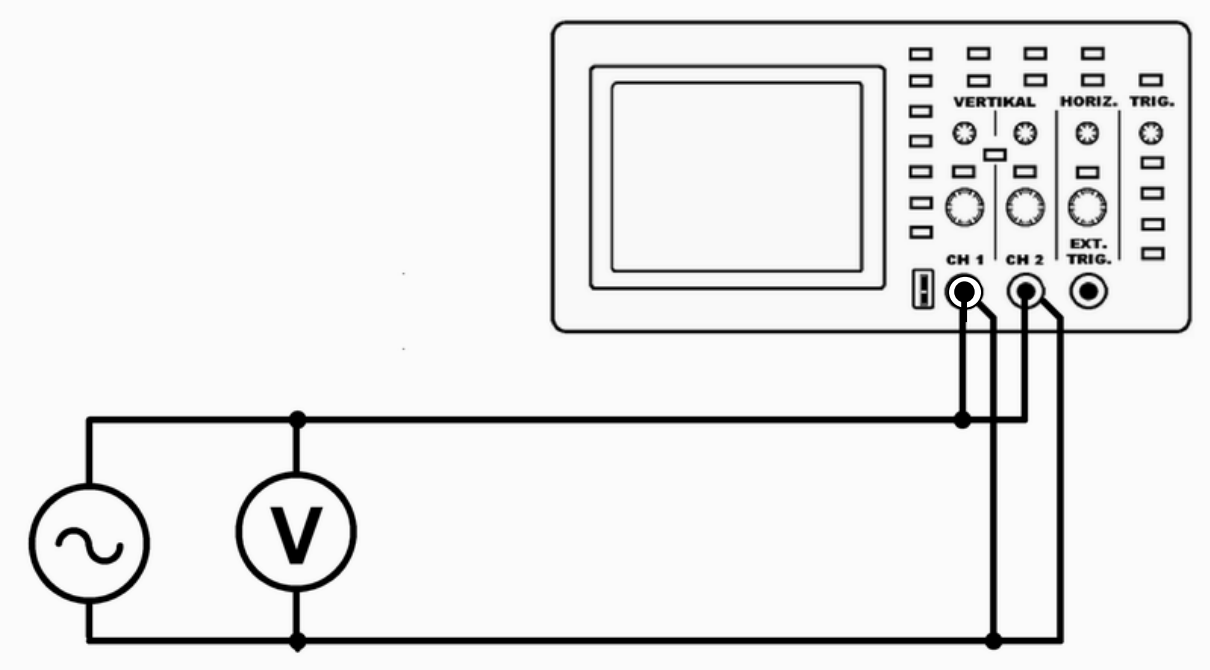
Quelle: Gebrauchsanleitung Fluke Multimeter Modell 83

Aufgaben

Aufgabe 1 Charakteristika von Sinussignalen

In dieser Aufgabe sollen Sie den Unterschied zwischen Amplitude, Spitzen-Spitzen-Wert und Effektivwert erkennen und außerdem Periodendauer und Frequenz bestimmen.

- Bauen Sie die Schaltung 1 auf



Schaltung 1

- Oszilloskop nach Anleitung in Betrieb nehmen.
- Stellen Sie mit dem Funktionsgenerator ein sinusförmiges Signal ein.
- Stellen Sie am Generator eine Frequenz von 500 Hz ein.
- **Stellen Sie dabei das Oszilloskop so ein, dass Sie möglichst genau ablesen können!** Hierzu die Zeitbasis so wählen, dass Sie ca. 1,5 bis 3 Perioden auf dem Bildschirm sehen können. Die Empfindlichkeit so wählen, dass das Signal so groß wie möglich dargestellt wird ohne die Bildschirmgrenzen zu überschreiten.
- Überprüfen Sie mit dem Oszilloskop die Frequenz, indem Sie die Periodendauer messen - Manuell, mit Cursor und mittels der automatischen Messfunktionen.
- Stellen Sie Amplituden von û = 2,4 V und û = 1,3 V sowie eine Spitzen-Spitzen-Spannung von u_{ss} = 300 mV ein und bestimmen Sie die jeweiligen Effektivwerte durch Messung mit dem Digitalvoltmeter und dem Oszilloskop. Messen Sie auch hier Manuell, mit Cursor und mittels der automatischen Messfunktionen.
- Wiederholen Sie die Messungen bei 2 kHz, 10 kHz, 50 kHz und 400 kHz.
- Welche Ursache haben die Abweichungen der mit dem Multimeter gemessenen Effektivwerte vom theoretischen Wert bei höheren Frequenzen?
- Welche Ursache ist für die unterschiedlichen Messergebnisse bei den Messungen mittels des Oszilloskops verantwortlich?

Hersteller und Modell des DV:

Eingestelltes Signal	Theorie	Oszilloskop												Digitalvoltmeter	
	Effektivwert der Spannung in V	Zeitbasis-einstellung in ms / Skalenteil	Empfindlich-keit in V / Skalenteil	Periodendauer T in ms			Frequenz in Hz			Effektivwert der Spannung in V			Messbereich in V	Effektivwert der Spannung in V
				Manuell	Cursor	Auto.	Manuell	Cursor	Auto.	Manuell	Cursor	Auto.		
500 Hz, û = 2,4 V														
500 Hz, û = 1,3 V														
500 Hz, u_{SS} = 300 mV														
2 kHz, û = 2,4 V														
2 kHz, û = 1,3 V														
2 kHz, u_{SS} = 300 mV														
10 kHz, û = 2,4 V														
10 kHz, û = 1,3 V														
10 kHz, u_{SS} = 300 mV														
50 kHz, û = 2,4 V														
50 kHz, û = 1,3 V														
50 kHz, u_{SS} = 300 mV														
400 kHz, û = 2,4 V														
400 kHz, û = 1,3 V														
400 kHz, u_{SS} = 300 mV														

Tabelle 1

Aufgabe 2: AC-, DC - Darstellung

- Stellen Sie am Generator ein Sinussignal mit 1 kHz, u_{ss} = 10 V **ohne Gleichspannungsoffset** ein.
- Stellen Sie am Oszilloskop die Nulllinie von Kanal 1 auf die mittlere Gitterlinie ein und wählen Sie geeignete Parameter für Zeitbasis, Empfindlichkeit und Triggerpegel.
- Messen Sie die Signalspannung mit dem Fluke Multimeter in den Betriebsmodi AC und DC.
- Messen Sie die Signalspannung mit der automatischen Effektivwertmessung des Oszilloskops in AC- und DC-Kopplung.
- Stellen Sie nun am Generator ein Sinussignal mit 1 kHz, u_{ss} = 10 V **und einem Gleichspannungsoffset von 5 V** ein.
- Stellen Sie am Oszilloskop die Nulllinie von Kanal 1 auf die vorletzte Gitterlinie ein und wählen Sie geeignete Parameter für Zeitbasis, Empfindlichkeit und Triggerpegel.
- Wiederholen Sie die Messungen. Sie müssen gegebenenfalls bei der Umschaltung zwischen AC- und DC-Kopplung erneut geeignete Parameter für Zeitbasis, Empfindlichkeit und Triggerpegel einstellen.

- Wie verändert sich die Darstellung des offsetbehafteten Signals bei Änderung der Kopplung?
- Vergleichen Sie die Messwerte mit den theoretischen Werten. **Welche Kenngröße des Signals wird von welchem Gerät bei welcher Einstellung gemessen?**

	Theorie	**Oszilloskop**		**Multimeter**	
	u_{eff}	**u_{eff} bei AC-Kopplung**	**u_{eff} bei DC-Kopplung**	**u im AC-Modus**	**u im DC-Modus**
Ohne Offset					
Mit Offset					

Tabelle 2

- Aktivieren Sie Kanal 1 und 2.
- Stellen Sie die Kopplung von Kanal 1 auf DC, die Kopplung von Kanal 2 auf AC und beide Nulllinien auf die mittlere Gitterlinie. Wählen Sie geeignete Parameter für Zeitbasis, Empfindlichkeit und Triggerpegel.
- Stellen Sie am Generator ein Sinussignal mit 100 Hz, u_{ss} = 10 V **ohne Gleichspannungsoffset** ein.
- Messen Sie mit der automatischen Effektivwertmessung den Effektivwert des Signals.
- Schalten Sie die Eingangskopplung von Kanal 2 nun zwischen AC und DC um. Beobachten Sie eine Signalveränderung?
- Wiederholen Sie den Vorgang bei einer Signalfrequenz von 10 Hz. Beobachten Sie eine Signalveränderung? Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie?

	u_{eff} bei AC-Kopplung	**u_{eff} bei DC-Kopplung**
100 Hz		
10 Hz		

Tabelle 3

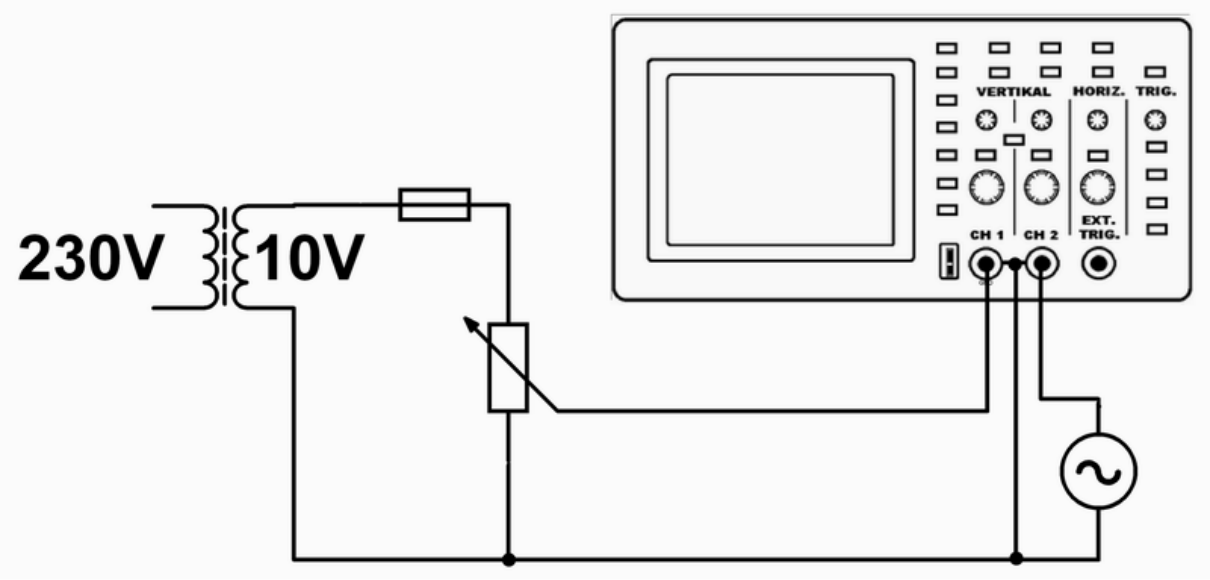
Aufgabe 3: Mathematische Funktionen des Oszilloskops

- Stellen Sie am Generator ein Sinussignal mit 5 kHz, u_{ss} = 10 V **und einem Gleichspannungsoffset von 5 V** ein.
- Stellen Sie bei beiden Kanälen eine Empfindlichkeit von 5 V pro Skalenteil ein.
- Wählen Sie für Kanal 1 DC-Kopplung und stellen Sie die Nulllinie auf die vorletzte Gitterlinie, für Kanal 2 wählen Sie AC-Kopplung und stellen Sie die Nulllinie auf die mittlere Gitterlinie.
- Aktivieren Sie nun die mathematischen Funktionen des Oszilloskops und wählen Sie die Darstellung CH1 + CH2. Stellen Sie die Nulllinie des Math-Kanals auf die dritte Gitterlinie von oben und wählen Sie für den Math-Kanal ebenfalls eine Empfindlichkeit von 5 V pro Skalenteil.
- Schalten Sie nun die Eingangskopplung von Kanal 2 zwischen AC und DC um. Vergleichen Sie die 3 dargestellten Signale hinsichtlich ihrer Amplitude und ihres Mittelwertes. Welchen Einfluss hat die Kopplung?
- Wählen Sie nun die Darstellung CH1 – CH2.
- Schalten Sie nun erneut die Eingangskopplung von Kanal 2 zwischen AC und DC um. Vergleichen Sie die 3 dargestellten Signale hinsichtlich ihrer Amplitude und ihres Mittelwertes. Welchen Einfluss hat die Kopplung?
- Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie hinsichtlich des Einflusses der Eingangskopplungen auf das Ergebnis der mathematischen Operation?

Aufgabe 4: Überlagerung von zwei Sinusschwingungen

Ein 50 Hz Sinus-Signal soll auf Kanal 1 und ein 1 kHz Sinus-Signal auf Kanal 2 dargestellt werden. Durch Addition der beiden Signale mit Hilfe der mathematischen Funktionen des Oszilloskops ergibt sich eine Überlagerung.

- Bauen Sie die Schaltung 2 auf.

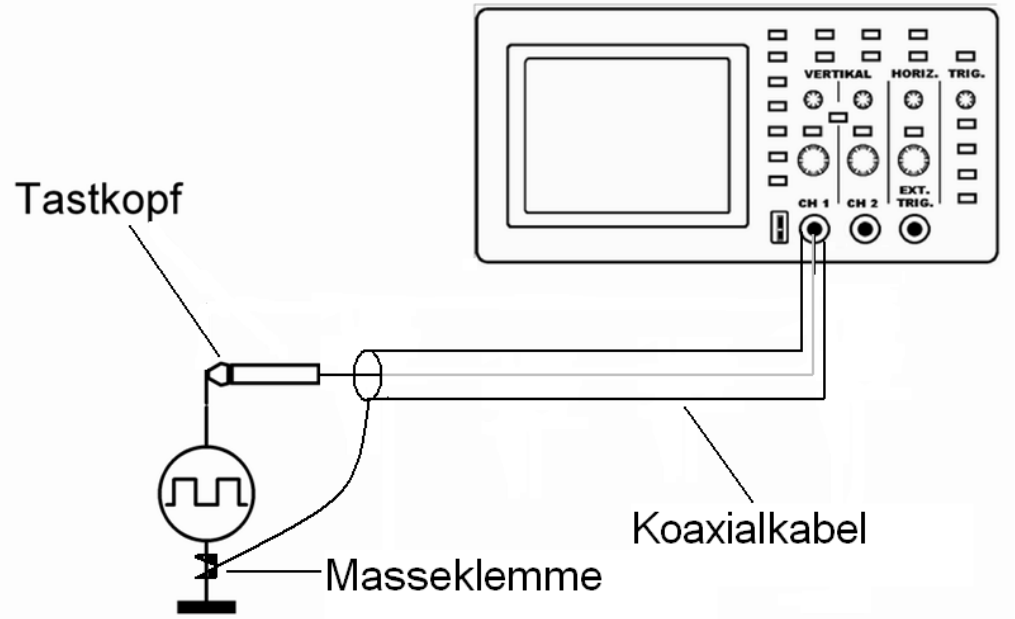


Schaltung 2

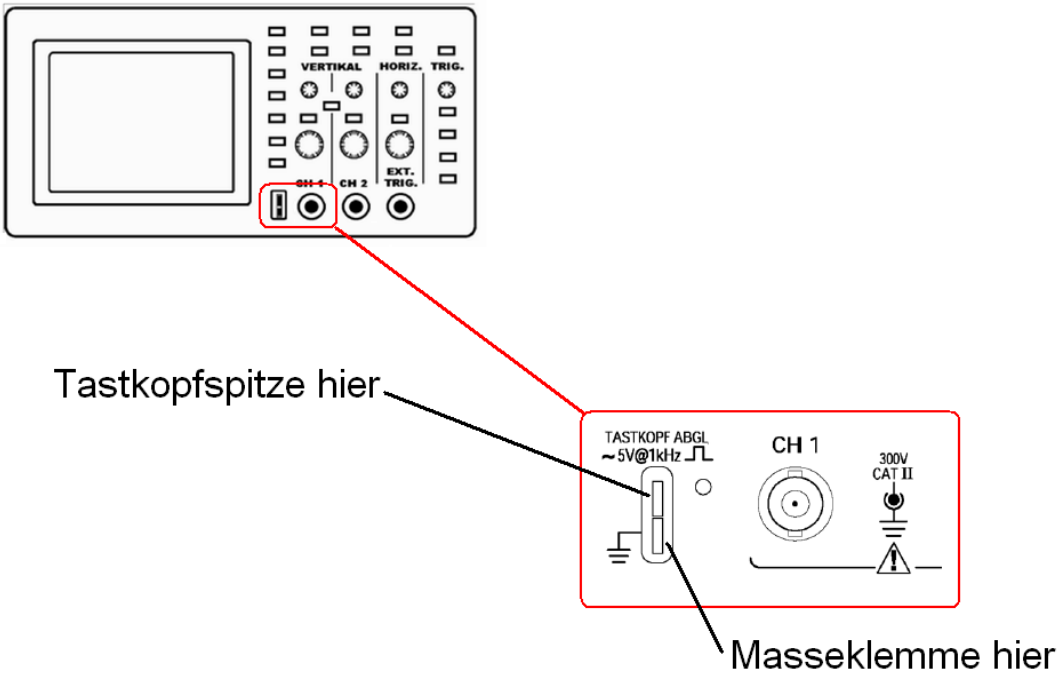
- Wählen Sie für beide Kanäle AC-Kopplung und stellen Sie die Nulllinien beider Kanäle auf die mittlere Gitterlinie.
- Aktivieren Sie nun die mathematischen Funktionen des Oszilloskops und wählen Sie die Darstellung CH1 + CH2.
- Variieren Sie die Amplituden der Signale und die Frequenz des Generators.
- Welchen Einfluss haben jeweils das höherfrequente und das niederfrequente Signal auf die Form und die „Breite“ des überlagerten Signals?

Aufgabe 5: Tastkopfabgleich

Da jedes Oszilloskop und jeder Tastkopf leicht unterschiedliche Impedanzen haben, ist es erforderlich, bei Anschluss eines Tastkopfes an das Oszilloskop einen Tastkopfabgleich durchzuführen. Wie im Leitfaden beschrieben wird der Abgleich durch Optimieren der Übertragung eines Rechtecksignals durchgeführt. Sie können den Abgleich entweder mit einem externen Funktionsgenerator oder mit dem internen Rechteckgenerator des Oszilloskops durchführen.

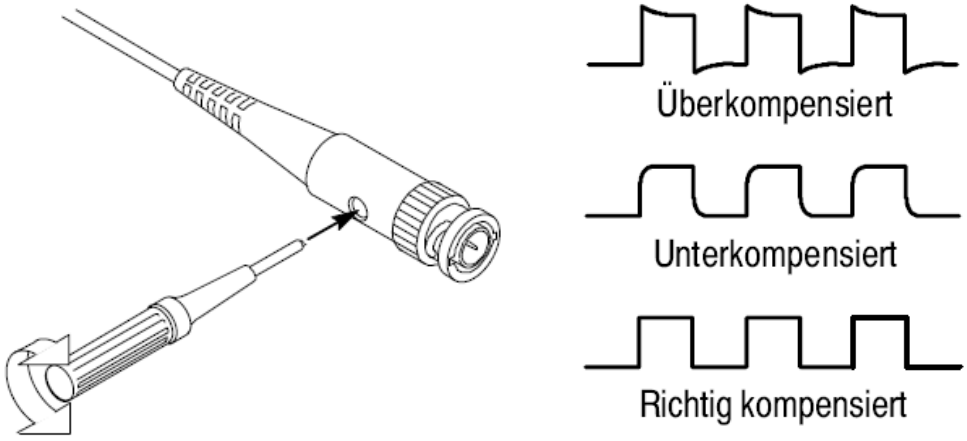


Schaltung zum Tastkopfabgleich bei Verwendung eines externen Funktionsgenerators



Anschluss des Tastkopfes bei Verwendung des internen Rechteckgenerators

- Schließen Sie den Tastkopf an Kanal 1 des Oszilloskops an und verbinden Sie ihn mit dem internen Rechteckgenerator oder dem externen Funktionsgenerator.
- Bei Benutzung des externen Funktionsgenerators stellen Sie ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 1 kHz und einer Amplitude von ca. 5 V ein.
- Reduzieren Sie am Tastkopf die Empfindlichkeit auf 1 / 10.
- Stellen Sie im Menü von Kanal 1 den Multiplikationsfaktor auf x10. Die Empfindlichkeit lässt sich nun bis auf 50 V / Skalenteil einstellen.
- **Stellen Sie das Oszilloskop so ein, dass Sie möglichst genau ablesen können!**
- Verändern Sie den Trimmkondensator am Tastkopf mit einem Schraubendreher so, dass das Signal sauber (keine runden Ecken, kein Überschwingen) übertragen wird.



Justage der Tastkopfkapazität

Aufgabe 6 Störminderung durch Koaxialkabel

In diesem Versuchsteil wird die Schirmwirkung eines Koaxkabels demonstriert. Hierzu wird mit Hilfe einer Spule eine Störsignalquelle simuliert.

- Schließen Sie die Spule an den Frequenzgenerator an. Stellen Sie die maximale Amplitude und eine Frequenz ca. 1 MHz ein.
- Schließen Sie den Tastkopf an Kanal 1 des Oszilloskops an und eine unabgeschirmte Leitung an Kanal 2.
- Reduzieren Sie am Tastkopf die Empfindlichkeit auf 1 / 10 und stellen Sie im Menü von Kanal 1 den Multiplikationsfaktor auf x10.
- Führen Sie das Tastkopfkabel und die unabgeschirmte Leitung durch das Innere der Spule.
- Stellen Sie die Empfindlichkeit von Kanal 2 so ein, dass Sie die Amplitude des Signals gut ablesen können.
- Stellen Sie an Kanal 1 dieselbe Empfindlichkeit ein wie bei Kanal 2.

- Vergleichen und beschreiben Sie die beiden Signale.

Verwendete Geräte

Oszilloskop Tektronix TDS 2002C

Funktionsgenerator HM8030-6

Digitalmultimeter Fluke 83/V, 87/III oder 179

Digitalmultimeter Hameg HM8012

Netzteil 50 Hz, 10V

Tastkopf

Messspule 1200 Wdg./ 35 mH/ 12 Ω

Literaturhinweise

Tietze/Schenk
Halbleiterschaltungstechnik
Springer Verlag
ISBN 3-540-42849-6

E. Hering
K. Bressler
J. Gutekunst
Elektronik für Ingenieure
Springer Verlag
ISBN 3-540-24309-7

J.-C. Böhmke
Das Oszilloskop – Theorie und Anwendung
Siehe Anhang.

Gebrauchsanleitung Oszilloskop
Tektronix TDS 2000 Series

Gebrauchsanleitung Digitalmultimeter
Fluke 83/V

Gebrauchsanleitung Digitalmultimeter
Hameg HM8012

Gebrauchsanleitung Funktionsgenerator
Hameg HM8030-6

1. Oszilloskop und Voltmeter

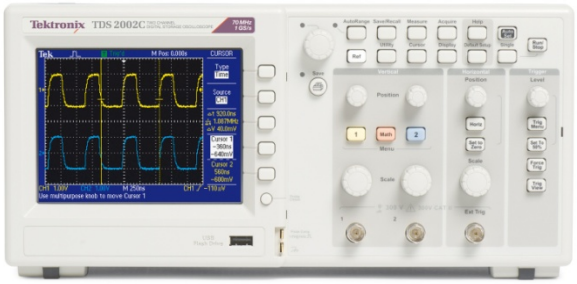


Abbildung 1: Digitalspeicheroszilloskop TDS 2002C

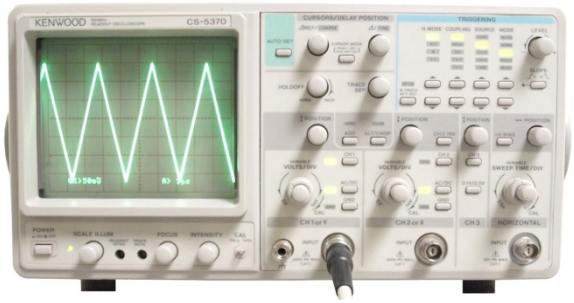


Abbildung 2: Analogoszilloskop

Oszilloskop und Voltmeter weisen viele Gemeinsamkeiten auf - bei beiden Gerätetypen handelt es sich um Spannungsmessgeräte. Die Überlegungen hinsichtlich Innenwiderstand, Anschluss und Rückwirkung auf die Schaltung, die bereits beim Multimeter behandelt wurden, gelten genauso für das Oszilloskop.

Allerdings weist das Oszilloskop gegenüber dem Voltmeter mehrere entscheidende Vorteile auf:

Ein Voltmeter ist entweder mit einem Zeiger ausgestattet ist, der sich über eine Skala bewegt (analoges Voltmeter), oder mit einer numerischen Anzeige, die den Messwert der Spannung in Zahlenform angibt (digitales Voltmeter). Der Messwert wird hierbei als quadratischer Mittelwert oder als Effektivwert angegeben. Somit ist es nicht möglich, Informationen über die Form des Spannungssignals zu erhalten. Zudem kann nur ein Signal erfasst und dargestellt werden.

Das Oszilloskop hingegen verfügt über einen Bildschirm, auf dem die Veränderung der Signalspannung in Abhängigkeit von der Zeit in graphischer Form dargestellt wird. Üblicherweise ist hierbei *die horizontale X-Achse (Abszisse) die Zeitachse*, die anzuzeigenden *Spannungen werden auf der vertikalen Y-Achse (Ordinate) abgebildet*. Das Oszilloskop ist also in der Lage, die Signalform und somit die „Geschichte“ des Signals darzustellen. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein Oszilloskop in der Regel über mehrere Eingänge verfügt und *mehrere Signale im direkten zeitlichen Vergleich* dargestellt werden können.

2. Aufbau des Oszilloskops

2.1 Vergleich Analogoszilloskop / Digitalspeicheroszilloskop

Die Abbildungen 4 und 5 auf der folgenden Seite zeigen den prinzipiellen Aufbau eines Analog- und eines Digitalspeicheroszilloskops. Obwohl es sich hierbei um 2 völlig verschiedene Geräte handelt, sind die Baugruppen, die direkt an den Signaleingängen angeschlossen sind, bei beiden Konzepten nahezu identisch vorhanden.

Abbildung 3: BNC-Stecker und Buchse – gut erkennbar ist der koaxiale Aufbau

Bei beiden Systemen erfolgt der Anschluss der Eingangssignale über *BNC-Buchsen*. BNC-Steckverbinder sind koaxiale Steckverbinder mit einem Bajonettverschluss. Sie werden für die Übertragung von Hochfrequenzsignalen bis etwa 1 GHz, teilweise auch bis 4 GHz, eingesetzt. Die BNC-Technik hat sich auch zur Übertragung von schwachen Gleichströmen, niederfrequenten Wechselströmen und Impulsen im Laborbetrieb

durchgesetzt, weil der Außenleiter elektrische Störungen abschirmt. Der koaxiale Aufbau bietet, vergleichbar mit einem Faradayschen Käfig, Schutz gegen externe elektrische Felder.

Anschließend wird das Signal an das Vertikalsystem weitergeleitet. Dieses besteht aus Abschwächern, Kopplungsgliedern und Vorverstärkern, die benötigt werden, um das Signal sinnvoll skalieren zu können.

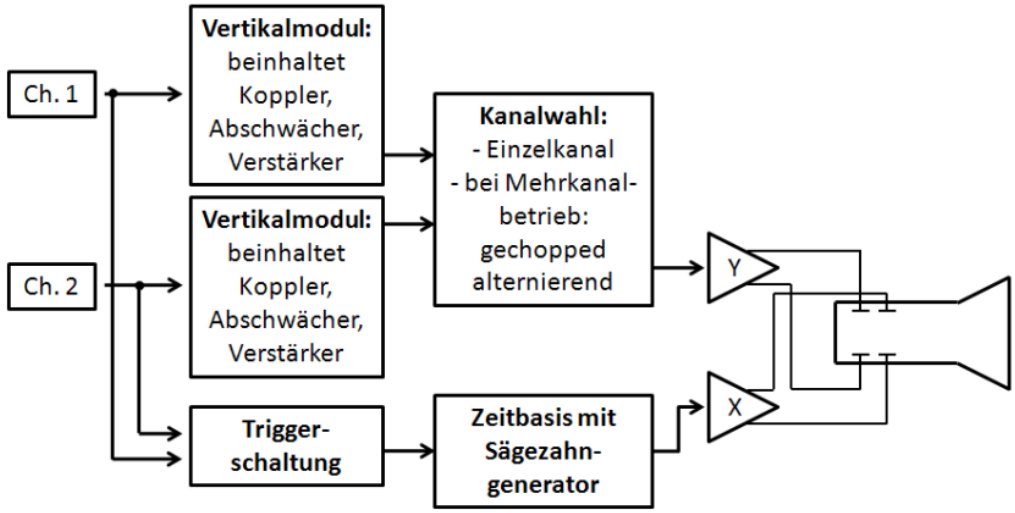


Abbildung 4: Blockschaltbild eines Analogoszilloskops

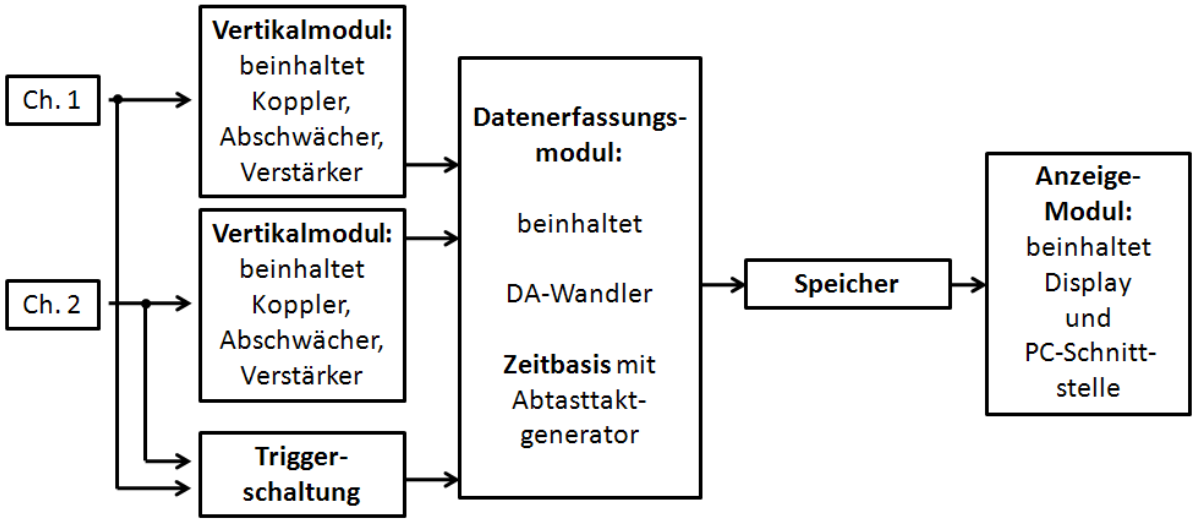


Abbildung 5: Blockschaltbild eines Digitalspeicheroszilloskops

Weiterhin ist bei beiden Systemen eine Triggerschaltung und eine Zeitbasis vorhanden. Diese Komponenten beeinflussen die horizontale Achse.

Vertikalsystem, Zeitbasis und Triggerschaltung werden im Folgenden noch detailliert behandelt. Zunächst sollen aber die Besonderheiten, Vor- und Nachteile der Analog- und Digitalspeicheroszilloskope im Detail betrachtet werden.

2.2 Das Analogoszilloskop

Bei analogen Oszilloskopen wird das Signal auf einer Kathodenstrahlröhre dargestellt. Die Kathodenstrahlröhre ist in vielen Lehrbüchern der Physik detailliert beschrieben, es soll daher an dieser Stelle nur ein kurzer Überblick zur Funktion der Röhre gegeben werden. Die auf Massepotenzial (0 V) liegende Kathode K wird über eine Heizwendel indirekt so weit aufgeheizt, dass es zur Glühemission von Elektronen kommt. In einigem Abstand zur Kathode befindet sich die ringförmige Anode, an die eine positive Hochspannung von einigen 1000 Volt angelegt wird. Das zwischen Anode und Kathode entstehende elektrische Feld beschleunigt die Elektronen in Richtung Anode. Nach Durchtritt durch die durchbohrte Anode treffen die Elektronen auf den Leuchtschirm, wo sie beim Auftreffen den Phosphor der Leuchtschicht zur Fluoreszenz anregen. Dadurch entsteht ein sichtbarer Leuchtfleck, dessen Größe mit Hilfe der Fokussiereinheit minimiert wird. Mit Hilfe einer negativen Spannung am Wehnelt-Zylinder kann die Helligkeit des Leuchtpunktes variiert werden. Auf ihrem Weg zur Leuchtschicht durchqueren die Elektronen ein System von paarweise angeordneten Ablenkplatten. An die Platten kann eine Spannung angelegt werden. Hierdurch entsteht wie bei einem Kondensator zwischen den Platten ein elektrisches Feld, mit dessen Hilfe der Elektronenstrahl abgelenkt werden kann.

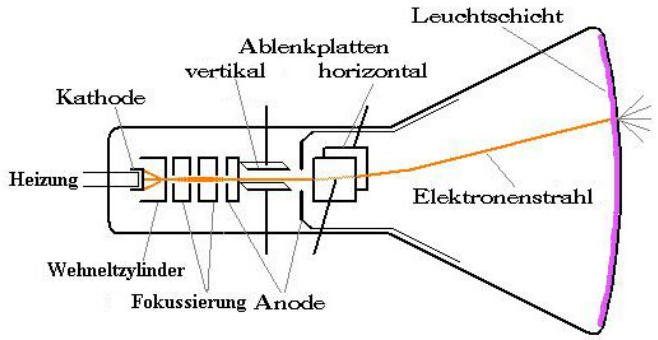


Abbildung 6: Kathodenstrahlröhre

Das Eingangssignal wird über einen kalibrierten Verstärker verstärkt und als Steuerspannung U_y an die vertikalen Ablenkplatten gelegt. Die horizontalen Ablenkplatten werden vom Oszilloskop gesteuert. Hierzu wird von der Zeitbasis eine Sägezahnspannung U_x mit einer vom Benutzer wählbaren Anstiegsgeschwindigkeit generiert. Durch dieses ansteigende Spannungssignal wird der Elektronenstrahl mit einer definierten Geschwindigkeit von links nach rechts über den Leuchtschirm geführt – in diesem Zeitintervall wird das Bild gezeichnet - und kehrt anschließend sofort zum Ausgangspunkt zurück. Dabei wird der Elektronenstrahl dunkelgetastet, damit man den Rücklauf der Schreibspur nicht sieht.

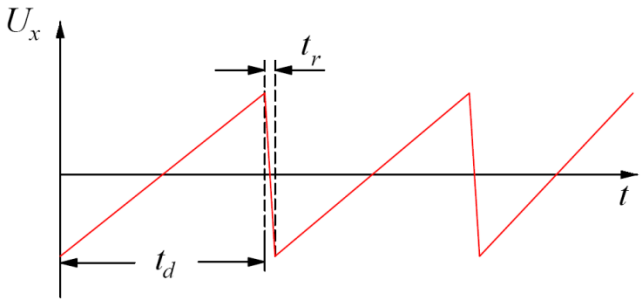


Abbildung 7: Sägezahnsignal

Die Ablenkung des Elektronenstrahls erfolgt bei analogen Oszilloskopen im Gegensatz zu anderen Bildschirmen praktisch immer kapazitiv durch elektrische Felder. Diese Ablenkungsart ist sehr einfach über große Frequenzbereiche zu beherrschen und ermöglicht den Einsatz auch bei sehr hochfrequenten Signalen. Ein Nachteil ist aber die große Einbautiefe der zugehörigen Bildröhre. Ein weiterer Nachteil ist, dass das Signal nicht gespeichert werden kann. Da der Leuchtschirm nur eine Nachleuchtdauer im Millisekundenbereich hat, ist es erforderlich, dass das Signal periodisch erneut

auf den Bildschirm geschrieben wird. Bei periodischen Signalen ist dies unproblematisch, eine Darstellung von einmaligen Ereignissen wie z.B. Störimpulsen ist aber nur begrenzt möglich. Analoge Oszilloskope haben daher heute aufgrund der praktischen Nachteile wie der Größe der Kathodenstrahlröhre und fehlender Speichermöglichkeiten im praktischen Laboreinsatz nur noch eine untergeordnete Bedeutung (Ausnahme Hoch- und Höchstfrequenzanwendungen).

2.3 Digitaloszilloskope

Um auch nicht kontinuierliche oder periodische Signale, sondern einmalige Impulsverläufe darstellen und vermessen zu können, benötigt man Oszilloskope, die ein einmal aufgezeichnetes Signal speichern können. Früher kamen für solche Zwecke Elektronenstrahl-Oszilloskope zum Einsatz, in denen das Signal zunächst auf einer speziellen Speicherschicht als Ladungsbild gespeichert und von dort kontinuierlich auf die Leuchtschicht übertragen wurde. Solche Geräte werden heutzutage fast ausnahmslos durch digitale Oszilloskope (DSO, englisch: Digital Sampling Oscilloscope) verdrängt. Sie führen eine Analog-Digital-Wandlung durch und sind prinzipiell Speicheroszilloskope. Sie können Daten auch nach der Messung zur Verfügung stellen, auf einem Speichermedium ablegen oder auf einen PC übertragen.

Bei einem DSO werden die analogen Eingangssignale mit einem Analog/Digital-Wandler (A/D-Wandler) zunächst in digitale Signale umgewandelt. Details dieses Wandlungsprozesses werden im späteren Verlauf der Elektronik-Vorlesungen behandelt. Deshalb werden im Folgenden nur einige Grundbegriffe erläutert.

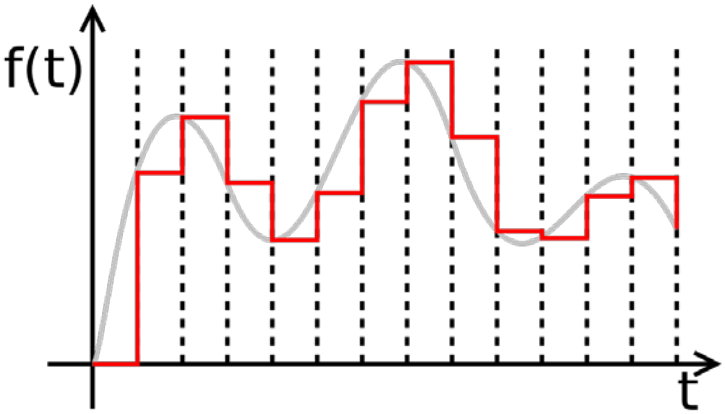


Abbildung 8: Zeitliche Diskretisierung (Quelle: Wiki Commons)

Die Analog/Digital-Wandlung geschieht nicht kontinuierlich, sondern nur zu diskreten, periodisch angeordneten Zeitpunkten, den so genannten *Abtastpunkten.* Während ein analoges Signal zu jedem beliebigen Zeitpunkt jeden beliebigen Wert annehmen kann, sind für ein digitales Signal nur noch die Werte an den Abtastpunkten bekannt (vergl. Abb. 8). Gleichzeitig wird zu jedem Abtastzeitpunkt die Signalhöhe quantisiert. Im Verlauf der Quantisierung wird der Wert des Signals einer bestimmten Werteklasse zugeordnet. Hierzu wird ein definiertes Referenzsignal in Werteklassen eingeteilt. Je mehr Werteklassen zur Verfügung stehen, desto kleiner sind die Werteintervalle und umso genauer ist die *Auflösung*. Die Abbildungen 8 und 9 sollen dies veranschaulichen. Die graue Kurve zeigt ein zeit- und wertkontinuierliches Analogsignal. Die rote Kurve in Abb. 8 zeigt ein zeitlich quantisiertes Signal, wertmäßig ist das Signal hier noch kontinuierlich, es kann also an den Abtastzeitpunkten noch jeden beliebigen Wert annehmen. In Abb. 9 wurde der Signalwert nun auch jeweils einer

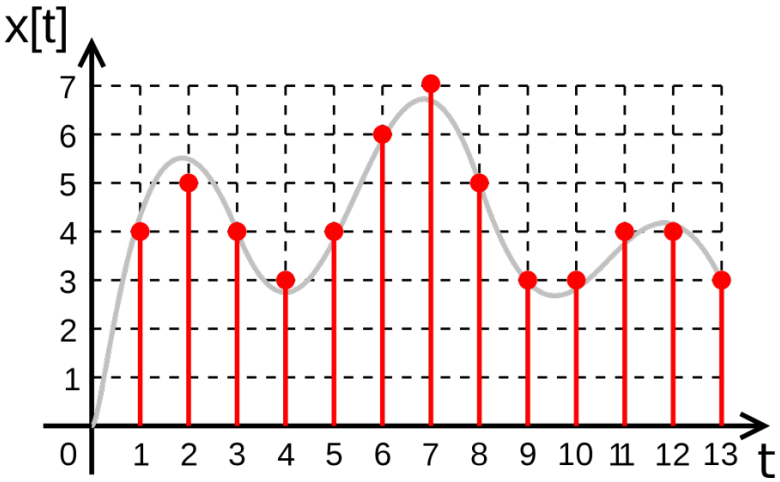


Abbildung 9: Zeit- und wertmäßig quantisiertes Signal (Quelle: Wiki Commons)

Signalklasse zugeordnet. Es kann also nur noch angegeben werden, in welchem Werteintervall der Signalwert zu den Abtastzeitpunkten ursprünglich gelegen hat.

Die Häufigkeit, mit der ein Signal abgetastet wird, ist durch die Abtastrate oder Abtastfrequenz f_a vorgegeben. Je höher f_a, desto präziser kann der zeitliche Verlauf eines Eingangssignals dargestellt werden. Gemäß dem *Nyquist-Shannon-Abtasttheorem* bestimmt die Abtastfrequenz f_a gleichzeitig auch die maximal verarbeitbare Signalfrequenz f_s. Sie darf nicht oberhalb der Nyquistfrequenz f_N liegen, die ihrerseits gemäß dem Abtasttheorem der halben Abtastfrequenz entspricht.

Die maximale Signalfrequenz f_s darf somit nicht höher als die halbe Abtastfrequenz f_a sein, da es andernfalls zu A*liasing-Effekten* kommen kann. Abbildung 10 veranschaulicht diesen Effekt.

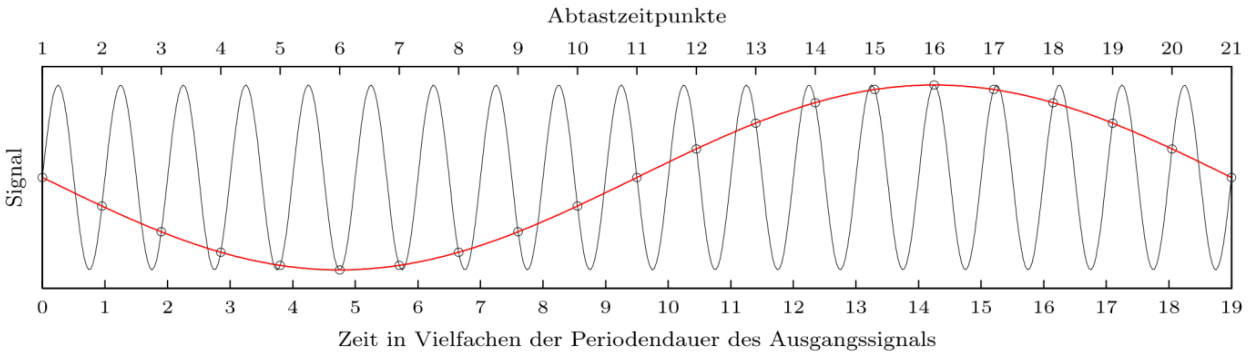


Abbildung 10: Aliasing-Effekt (Quelle: Wiki Commons)

Ein kontinuierliches Signal (schwarze Linie) wird hierbei mit einer ungeeigneten Abtastfrequenz, die kleiner als vom Abtasttheorem gefordert ist, diskretisiert. Aus den erhaltenen Messwerten (Kreise) entsteht durch Interpolation ein verfälschtes Signal mit viel zu großer Periode (rote Linie).

Ein bekanntes Beispiel für Aliasing-Effekte kann in Filmen beobachtet werden. Beobachtet man die Beschleunigung eines Fahrzeugs im Film, drehen sich die Räder zunächst in die richtige Richtung. Von einer bestimmten Geschwindigkeit an aber scheinen sich die Räder rückwärts zu drehen, um mit weiter zunehmender Geschwindigkeit des Fahrzeugs scheinbar wieder langsamer zu werden. Dann scheinen sie stehenzubleiben um sich gleich danach mit unnatürlich niedriger Geschwindigkeit wieder in die richtige Richtung zu bewegen. Das scheinbare Vor- und Rückwärtslaufen wiederholt sich bei weiterer Beschleunigung.

Der Film ist eine schnelle Abfolge von Einzelbildern (typ. 24 bzw. 25 Bilder pro Sekunde), allerdings ist die Bildfolge so schnell, dass sie dem Betrachter als kontinuierliches Signal erscheint. Signaltheoretisch betrachtet stellt jedoch jedes Einzelbild einen Abtastvorgang dar. Die Abtastfrequenz f_a entspricht somit der Bildwiederholfrequenz (24 bzw. 25 Hz). Die Signalfrequenz f_s entspricht der Frequenz, mit der z.B. die Speichen des Rades einen gewissen Winkel durchlaufen. Dreht sich das Rad pro Bild um eine halbe Speiche weiter, kann nicht mehr unterschieden werden, ob es sich vorwärts oder rückwärts dreht (Signalfrequenz = Nyquist-Frequenz). Von dieser Geschwindigkeit an beginnt der Alias-Effekt.

- Liegt die Signalfrequenz zwischen der Nyquist-Frequenz und der Abtastfrequenz, ist die Phase invertiert, das Wagenrad scheint rückwärts zu laufen.
- Bewegt sich das Rad pro Bild um genau eine Speiche weiter, scheint es stillzustehen (Signalfrequenz = Abtastfrequenz).
- Das Rad scheint auch stillzustehen, wenn sich das Rad zwischen zwei Bildern um eine beliebige ganzzahlige Anzahl von Speichen weiterdreht (Signalfrequenz = n · Abtastfrequenz).

Dieser Effekt wird später bei der Wahl der Zeitbasiseinstellungen (s.u.) wichtig werden, da die hier gewählten Einstellungen die Abtastfrequenz f_a des Oszilloskops beeinflussen. Wird eine zu langsame Zeitbasiseinstellung gewählt, so wird die Abtastfrequenz so weit reduziert, dass es bei schnellen Signalen zu Aliasing kommen kann.

Die Gefahr des Aliasing stellt somit einen der größten Nachteile der digitalen Oszilloskope dar.

2.4 Das Vertikalsystem

Wie wir bereits in der Einleitung gesehen haben, besteht das Vertikalsystem aus mehreren Abschwächern, Verstärkern und dem Koppler bzw. Kopplungseinsteller. Das vertikale System skaliert und positioniert die Eingangssignale so, dass sie auf dem Bildschirm sinnvoll dargestellt werden können. Abbildung 11 zeigt die Bedienelemente des im Praktikum verwendeten Oszilloskops TDS2002c; die Beschreibungen hierzu sind auf andere Oszilloskope sinngemäß genauso anwendbar.

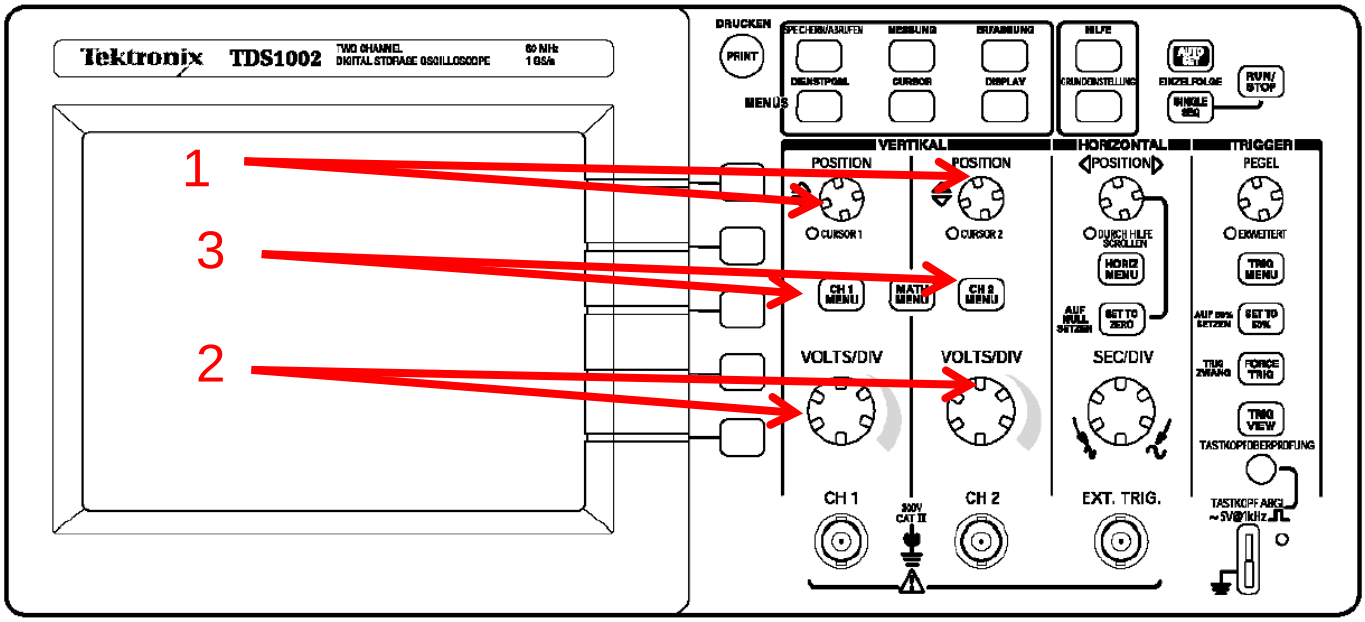


Abbildung 11: Bedienelemente des Vertikalsystems

Die wichtigsten Bedienelemente sind hierbei die Positionsregler (1 – zur Regelung der Lage der Nullinie des Kanals auf dem Bildschirm), die Empfindlichkeitsregler (2 – zur Anpassung der Empfindlichkeit) und die Channel-Menütasten (3 – hierrüber erreichen Sie die Kopplungsoptionen, Bandbreitenbegrenzung, etc.). Im Folgenden werden wichtige Baugruppen des Vertikalsystems und Fachbegriffe zum Vertikalsystem behandelt.

2.4.1 Empfindlichkeit

In der Praxis ist es oftmals erforderlich, Signale von wenigen Millivolt bis zu mehreren zig Volt mit dem Oszilloskop zu vermessen. Ein Beispiel hierfür ist der Verstärker einer HiFi-Anlage; hier wird z.B. das Signal eines CD-Players (0,775 V bei maximaler Lautstärke) so verstärkt, dass es am Lautsprecherausgang des Verstärkers über 100 V Amplitude aufweisen kann. Soll hier im Rahmen einer Fehlersuche der Signalpfad vermessen werden, ist es erforderlich, kleine Signale zu verstärken und große Signale abzuschwächen, so dass sie auf dem Bildschirm des Oszilloskops gut ablesbar dargestellt werden können. Verstärkung und Abschwächung können mit Hilfe des *Empfindlichkeitsreglers* angepasst werden.

Der Bildschirm eines Oszilloskops ist zur besseren Ablesbarkeit mit einem Skalen-Raster versehen, welches aus 8 vertikalen und 10 horizontalen 1cm-Quadraten besteht. Diese Teilungseinheiten werden auch als *Divisions* bezeichnet. Um nun die Amplitude eines unbekannten Signals vermessen zu können, ist es erforderlich zu wissen, wie die *Empfindlichkeit* des Oszilloskops eingestellt wurde, das heißt, wie viel *Volt pro Division* angezeigt werden.

Mit Hilfe der Empfindlichkeitsregler lässt sich bei den meisten Oszilloskopen die Empfindlichkeit der Messkanäle in den Schritten einer *1-2-5-Folge* einstellen, d.h. 10 mV/div., 20 mV/div., 50 mV/div., 100 mV/div., …

Kann das Signal mit dieser Schrittfolge nicht sinnvoll skaliert werden, so kann im Channel-Menü das Einstellverhalten des Empfindlichkeitseinstellers von der groben schrittweisen Anpassung auf eine feinstufige Anpassung geändert werden.

Diese Option ist auch bei vielen älteren Oszilloskopen vorhanden, hier muss die Option „Variable“ bzw. „VAR“ aktiviert werden. Allerdings ist in diesem Fall bei vielen Geräten keine kalibrierte Messung mehr möglich, da die gewählte Empfindlichkeit nicht bekannt ist. Das TDS2002c hingegen zeigt die gewählte Empfindlichkeit am unteren Bildschirmrand - auch bei variabler Einstellung - an.

2.4.2 Kopplung

Mit dem Kopplungseinsteller, den Sie über das Channel-Menü erreichen, wird vorgegeben, auf welche Weise das Eingangssignal von der BNC-Eingangsbuchse an die übrigen Komponenten des Vertikalsystems des jeweiligen Kanals weitergeleitet wird. Hierbei sind 2 Einstellungen zu unterscheiden – *DC- Kopplung* und *AC-Kopplung*.

Bei der DC-Kopplung wird das Signal über eine direkte Signalverbindung weitergeleitet – alle Signalkomponenten (AC und DC) beeinflussen dann die Anzeige.

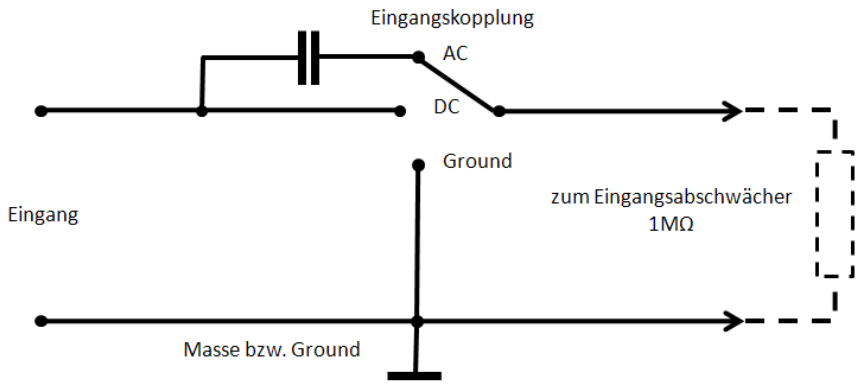


Abbildung 12: Vereinfachte Eingangsschaltung

Bei der AC-Kopplung hingegen wird zwischen BNC-Buchse und Eingangsabschwächer ein Kondensator in Reihenschaltung in den Signalpfad eingefügt. Hierbei wirken der Kondensator und die Impedanz des Eingangsabschwächers zusammen als Hochpass (vergl. Abb. 12).

Die untere Grenzfrequenz liegt bei den meisten Oszilloskopen bei ca. 10 Hz; bei dieser Frequenz wird das Signal nur noch mit 71% seiner eigentlichen Amplitude dargestellt. Unterhalb der Grenzfrequenz werden die Signale noch stärker abgeschwächt.

Folglich werden aufgrund des Hochpasses *bei AC-Kopplung DC-Anteile des Signals vollständig blockiert und niederfrequente AC-Anteile sehr stark abgeschwächt.*

Verbunden mit dem Einsteller für die Kanalkopplung ist die Ground-Funktion für das Eingangssignal. Hiermit wird der Signalpfad unterbrochen und der Abschwächereingang auf Masse gelegt. Folglich wird bei Wahl dieser Einstellung eine Linie bei 0 Volt auf dem Bildschirm angezeigt, die mit Hilfe des Positionswählers auf die Bildschirmmitte oder einen beliebigen Punkt der vertikalen Bildschirmachse verschoben werden kann. Die Positionierung der Nulllinie mit Hilfe der Ground-Funktion ist bei vielen modernen Oszilloskopen allerdings nicht mehr zwingend erforderlich, da diese Geräte oftmals auf dem Bildschirm den Massebezugspegel markieren (siehe Abbildung 13).

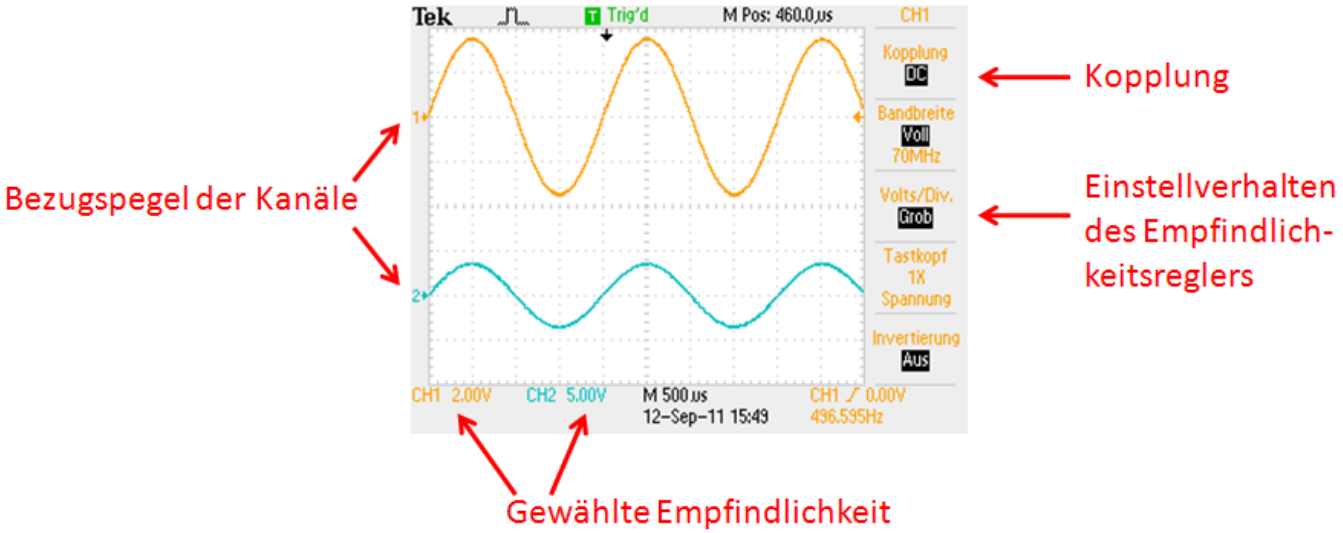


Abbildung 13: Wichtige Anzeigeelemente des Vertikalsystems

2.4.3 Eingangsimpedanz

Die meisten Oszilloskope weisen eine Eingangsimpedanz von 1 MΩ parallel zu 25 pF auf. Dieser Wert ist deutlich geringer als der Innenwiderstand eines Voltmeters, er ist aber für die meisten Anwendungen akzeptabel, da die Belastung der meisten Signalquellen in diesem Fall noch recht gering ist.

Einige hochfrequente Signale, z. B. Videosignale, stammen von Quellen mit einer Ausgangsimpedanz von 50 Ω. Um diese Signale verzerrungsfrei messen zu können, müssen sie korrekt übertragen und abgeschlossen werden. Daher ist es erforderlich, Kabel mit einem Wellenwiderstand von 50 Ω zu verwenden. Außerdem muss das Kabel am Oszilloskop mit einem 50 Ω - Lastwiderstand abgeschlossen werden. Bei einigen Oszilloskopen ist dieser *Abschlusswiderstand* bereits eingebaut und kann bei Bedarf aktiviert werden.

2.4.4 Dynamischer Bereich

Der dynamische Bereich bezeichnet die maximale Amplitude eines Signals dar, die noch ohne Verzerrung bei der gewählten Empfindlichkeit dargestellt werden kann. Das Signal ist dabei bereits nicht mehr vollständig auf dem Bildschirm darstellbar, es kann aber mit Hilfe des Positionsreglers „durchgescrollt“ werden. Der dynamische Bereich liegt bei den meisten Oszilloskopen bei 24 Divisions, entspricht also 3 Bildschirmhöhen.

Achtung: Die Messfunktionen des TDS2002 funktionieren allerdings nur bis zu den Bildschirmgrenzen! Signalabschnitte die außerhalb des Bildschirmbereichs liegen werden hierbei nicht berücksichtigt!

2.4.5 Bandbreite und Bandbreiten-Begrenzer

Die Bandbreite ist die wichtigste Spezifikation eines Oszilloskops. Die Bandbreite beschreibt den Frequenzgang des vertikalen Systems; er ähnelt in seinem Verlauf einem Tiefpass. Sie ist definiert als die maximale Frequenz, bei der das Signal mit nicht mehr als 3dB Dämpfung angezeigt wird. Die angezeigte Amplitude beträgt in diesem Fall also nur noch 71% der tatsächlichen Signalamplitude. Es gilt:

$$Dämpfung\ in\ dB = 20 \cdot \log\left(\frac{angezeigte\ Spannung}{tatsächliche\ Spannung}\right)$$

In der Praxis wird die Bandbreite häufig vereinfacht so betrachtet, als ob der Frequenzgang bis zur Grenzfrequenz f_g ungedämpft verläuft und erst ab f_g mit 20 dB / Dekade abfällt. Abbildung 13 zeigt den idealisierten und realen Frequenzgang eines Oszilloskops. (Die Frequenzachse wurde hierbei auf f_g normiert, die Skala zeigt das Verhältnis f / f_g.)

Bei Oszilloskopen mit großer Bandbreite kann die Bandbreite auf typisch 20 MHz reduziert werden. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn sehr empfindliche Messungen an Signalen mit Frequenzen unterhalb von 20 MHz durchgeführt werden sollen.Durch die Reduzierung der Bandbreite können höherfrequente Rauschpegel zum Teil drastisch reduziert werden.

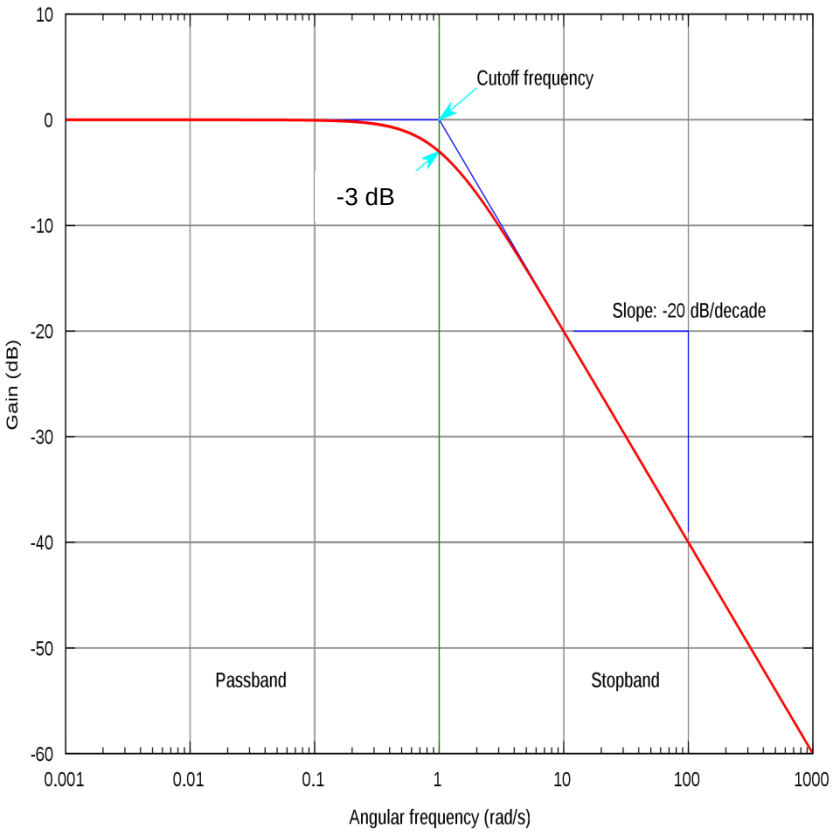
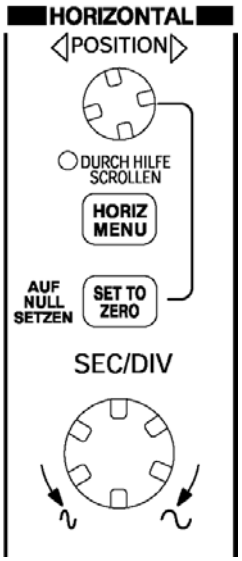


Abbildung 14: Realer (rot) und idealisierter (blau) Frequenzgang eines Oszilloskops

2.5 Die Zeitbasis



Um den zeitlichen Verlauf eines Signals darstellen zu können, haben wir mit dem Vertikalsystem die Eingangssignale so erfasst, skaliert und positioniert, dass eine sinnvolle Darstellung auf der vertikalen Achse des Bildschirms möglich wurde. Um nun eine Kurve zeichnenzu können, müssen diesen vertikalen Informationen die zugehörigen zeitlichen Informationen hinzugefügt werden – die horizontale Darstellung muss also proportional zur Zeit erfolgen. Das System, das die Darstellung der horizontalen Achse (der X-Achse) steuert, wird als *Zeitbasis* bezeichnet.

Die Durchlaufgeschwindigkeit oder Zeitbasisgeschwindigkeit wird in Sekunden pro Division gemessen und kann in einem weiten Bereich variiert werden (vergl. Abb. 16). Bei dem im Praktikum verwendeten Oszilloskop TDS2002c kann sie von 5 ns / div. bis 50 s / div. eingestellt werden. Sie wird in der Regel wie bei der Empfindlichkeit kann die Zeitbasis-Geschwindigkeit in einer 1-2-5-Folge eingestellt werden. Abbildung 15 zeigt die hierzu benötigten Bedienelemente.

Abbildung 15: Bedienelemente der Zeitbasis (Quelle: Fluke)

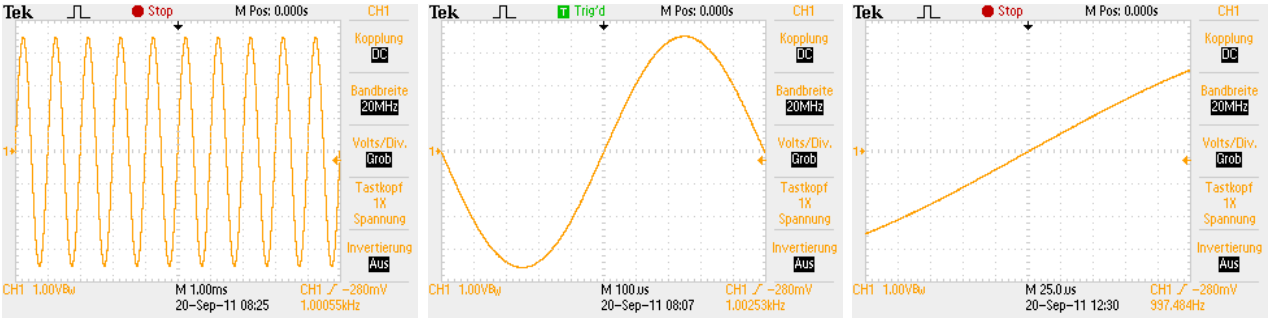


Abbildung 16: Einfluss der Zeitbasisgeschwindigkeit – in allen Screenshots wird ein Signal mit einer Frequenz von 1 kHz dargestellt. Eine Erhöhung der Zeitbasisgeschwindigkeit führt zu einer gestreckten Darstellung.

Während beim analogen Oszilloskop durch die Zeitbasis die Ablenkung des Elektronenstrahls in horizontaler Richtung gesteuert wird, also ein kontinuierlicher Signalverlauf dargestellt wird, wird beim digitalen Oszilloskop durch die Zeitbasis die Abtastfrequenz gesteuert.
Wie bereits weiter oben beschrieben, muss der Anwender daher darauf achten, eine sinnvolle Zeitbasisgeschwindigkeit zu wählen, da andernfalls Aliasing auftreten kann! Beachten Sie daher unbedingt die folgenden Einstellungen zur Vermeidung von Aliasing beim TDS2002c:

Zeitbasis (sec / div.)	Samples pro Sekunde	Maximale im Signal enthaltene Frequenz
5 bis 250 ns	1,0 GS / s	70,0 MHz
500 ns	500,0 MS / s	70,0 MHz
1,0 µs	250,0 MS / s	70,0 MHz
2,5 µs	100,0 MS / s	50,0 MHz
5,0 µs	50,0 MS / s	25,0 MHz
10,0 µs	25,0 MS / s	12,5 MHz
25,0 µs	10,0 MS / s	5,0 MHz
50,0 µs	5,0 MS / s	2,5 MHz
100,0 µs	2,5 MS / s	1,25 MHz
250,0 µs	1,0 MS / s	500,0 kHz
500,0 µs	500,0 kS / s	250,0 kHz
1,0 ms	250,0 kS / s	125,0 kHz
2,5 ms	100,0 kS / s	50,0 kHz

Zeitbasis (sec / div.)	Samples pro Sekunde	Maximale im Signal enthaltene Frequenz
5,0 ms	50,0 kS / s	25,0 kHz
10,0 ms	25,0 kS / s	12,5 kHz
25,0 ms	10,0 kS / s	5,0 kHz
50,0 ms	5,0 kS / s	2,5 kHz
100,0 ms	2,5 kS / s	1,25 kHz
250,0 ms	1,0 kS / s	500 Hz
500,0 ms	500,0 S /s	250 Hz
1,0 s	250,0 S / s	125 Hz
2,5 s	100,0 S / s	50,0 Hz
5,0 s	50,0 S / s	25,0 Hz
10,0 s	25,0 S / s	12,5 Hz
25,0 s	10,0 S / s	5,0 Hz
50,0 s	5,0 S / s	2,5 Hz

Beim analogen Oszilloskop beginnt die Aufzeichnung des Signals nach einem *Triggerereignis (siehe Kapitel 2.6)* immer am linken Bildschirmrand. Mit Hilfe des *Einstellers für die horizontale Position* kann nun die Schreibspur horizontal auf dem Bildschirm verschoben werden, so dass ein bestimmter Punkt der Schreibspur (z.B. der Nulldurchgang eines Sinusförmigen Signals) an einer vertikalen Rasterlinie ausgerichtet wird. Nun kann diese Rasterlinie als Startpunkt für eine Zeitmessung verwendet werden.

Beim digitalen Oszilloskop sind durch die kontinuierliche Datenspeicherung mehr Möglichkeiten gegeben. Hier lässt sich mit Hilfe des Drehknopfes für die horizontale Position einstellen, ob Signaldaten vor oder nach dem Triggerereignis bzw. irgendwo dazwischen angezeigt werden. Somit ändert sich in diesem Fall die dargestellte Zeit zwischen dem Triggerereignis und der Bildschirmmitte.

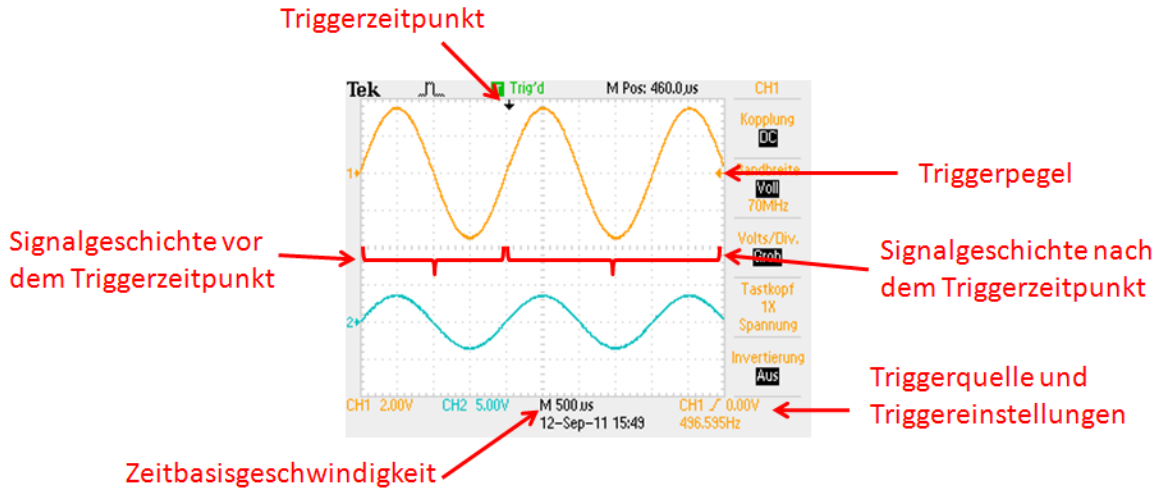


Abbildung 17: Wichtige Anzeigeelemente der Zeitbasis und der Triggerschaltung

Dies hat in der Praxis den entscheidenden Vorteil, dass z.B. die Vorgeschichte einer Störung wesentlich einfacher erfasst werden kann. Sie wollen z.B. die Ursache für einen Störspike in Ihrem Prüfaufbau ermitteln. Hierzu könnten Sie auf den Störspike triggern und den Vortrigger-Zeitraum vergrößern, um Daten vor dem Störspike zu erfassen. Anschließend analysieren Sie die Vortrigger-Daten und kommen den Ursachen für den Störspike so womöglich auf die Spur.

2.5.1 Doppelte Zeitbasis

Bei der Darstellung komplexer Signale ist es oft erforderlich, einen kleinen Ausschnitt des Signals vergrößert darzustellen, so dass er den gesamten Bildschirm ausfüllt. Zu diesem Zweck verfügen viele Oszilloskope über eine *doppelte Zeitbasis*.

Die *Hauptzeitbasis* (*Main timebase* – wird beim TDS2002 durch ein M vor der Zeitbasisgeschwindigkeit gekennzeichnet – siehe Abb. 17) kann auf ein Haupttriggerereignis in der Signalform triggern. Mit Hilfe der Optionen im Horizontalmenü kann mittels Cursor ein Bereich ausgewählt werden, der vergrößert dargestellt werden soll.

Eine zweite Zeitbasis, die *verzögerte Zeitbasis* (*Delayed timebase* - wird beim TDS2002 durch ein D vor der Zeitbasisgeschwindigkeit gekennzeichnet) wird am Anfang des ausgewählten Zoombereichs gestartet. Ihre Geschwindigkeit kann separat schneller eingestellt werden als die Geschwindigkeit der Hauptzeitbasis.

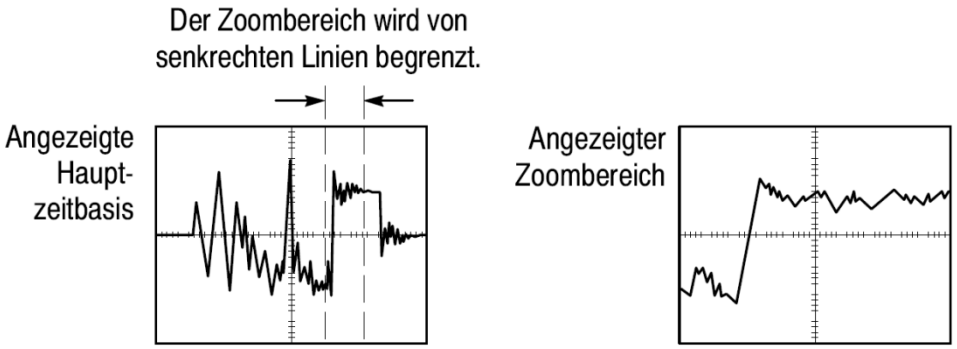


Abbildung 18: Darstellung des gesamten Signals bei normaler und eines vergrößerten Signalausschnitts bei verzögerter Zeitbasis (Quelle: Fluke)

2.5.2 Betriebsarten der Zeitbasis

Die Zeitbasis verfügt über mehrere Betriebsarten. Diese sind: normal (triggered), automatisch (auto) und Single (single shot).

Der normale getriggerte Betrieb und der Automatikbetrieb können beim TDS 2002c über das Triggermenü aktiviert werden. Die Betriebsart Single zur Erfassung von Einzelsignalen kann direkt mittels einer Taste auf der Frontplatte aktiviert werden.

- *Normal (triggered)*
  In diesem Betriebsmodus muss die Zeitbasis getriggert werden, um eine Schreibspur erzeugen zu können. An dem als Triggerquelle gewählten Kanal muss ein Eingangssignal anliegen, dass groß genug ist, um die Zeitbasis zu triggern. Wenn das Signal die gewählten Triggereinstellungen nicht erfüllt, wird keine Schreibspur angezeigt.
  Kein Triggerereignis – keine Schreibspur.

- *Automatisch*
  In diesem Betriebsmodus wird auch dann eine Schreibspur angezeigt, wenn kein Triggerereignis auftritt. Hierzu ermöglicht der Automatikbetrieb den *Freilauf* der Zeitbasis bei einer niedrigen Wiederholfrequenz , so dass immer eine Schreibspur auf dem Bildschirm angezeigt wird. Dies ist besonders hilfreich um die vertikale Position der Schreibspur einzustellen und bei reinen Gleichspannungssignalen.

- *Single (single shot)*
  In diesem Betriebsmodus wird die Zeitbasis nur einmalig nach dem Auftreten eines Triggerereignisses gestartet. Nachfolgende Triggerereignisse werden ignoriert und der Bildschirminhalt bleibt eingefroren, bis die Triggerschaltung erneut *armiert*, also scharf geschaltet, wird. Die Triggerschaltung kann erneut armiert werden, indem die Taste „Single“ erneut gedrückt wird.
  Das TDs2002c zeigt seinen Betriebszustand hierbei in der Mitte des oberen Bildschirmrandes wie folgt an:
- Armed / Ready: die Triggerschaltung wurde scharf geschaltet und wartet auf ein Triggerereignis.
- Trig´d: ein Triggerereignis hat die Zeitbasis gestartet und es werden gerade Daten aufgenommen.
- Acq. Complete: Es werden die nach dem letzten Triggerereignis aufgenommenen Daten angezeigt.

2.6 Die Triggerung

Mit Hilfe des vertikalen Systems und der Zeitbasis ist es möglich, dass Signal so zu skalieren, dass der Anwender die wichtigsten Signalinformationen gut ablesen kann. Dennoch ist das Signal oftmals so skaliert, dass nicht exakt eine glatte Anzahl an Signalperioden auf den Bildschirm passt (siehe Abb. 20). Theoretisch müsste also der Signalverlauf in diesem Fall immer mit verschiedenen Startpunkten auf dem Bildschirm beginnen (siehe Abb. 19), was eine Signalauswertung deutlich erschwert.

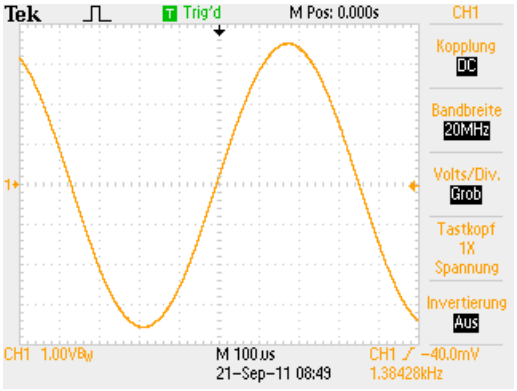


Abbildung 19: getriggertes Signal

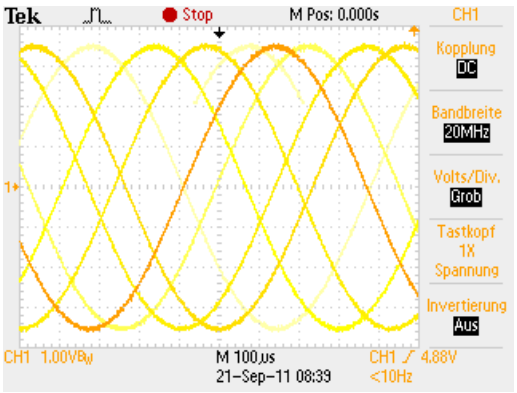


Abbildung 20: ungetriggertes Signal

Um ein unkontrolliertes Starten des Signals mit beliebigen Startpunkten zu verhindern, ist in allen Oszilloskopen eine *Triggerschaltung* vorhanden. Die Triggerschaltung startet den Zeitbasisdurchlauf an einem genau definierten Punkt auf dem Eingangssignal.

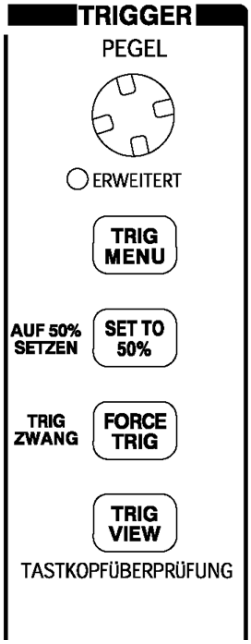


Abbildung 21: Bedienelemente der Triggerschaltung

Dieser Startpunkt wird mit den Parametern *Triggerart, Triggerquelle, Triggerpegel, Triggerflanke und Triggerkopplung* festgelegt. Beim TDS 2002c kann der Triggerpegel über den Pegeleinsteller auf der Gerätefrontplatte eingestellt werden. Die Einstellmöglichkeiten für die Triggermuster, Triggerquelle, Triggerflanke und Triggerkopplung können über das *Triggermenü* aufgerufen werden.

Triggermuster: Es stehen in der Regel mehrere Triggermuster zur Verfügung. Die gebräuchlichsten sind Flankentrigger, Videotrigger und Impulsbreiten-Trigger.

Im Praktikum wird ausschließlich die *Flankentriggerung* verwendet. Hierbei triggert das Oszilloskop auf der fallenden oder steigenden Flanke des Triggersignals, sobald der gewünschte Triggerpegel erreicht wird.

Triggerquelle: Hiermit wird festgelegt, von welcher Quelle das Triggersignal stammt. In den meisten Fällen stammt es von einem der Eingangssignale, es wird also einer der Messkanäle als Quelle verwendet, an den das Eingangs-signal angeschlossen ist (CH1 oder CH2). Gebräuchlich ist auch die *Netztriggerung* (AC Line) bei Systemen mit Netzfrequenz oder einer von der Netzfrequenz abgeleiteten Frequenz. Hiermit lassen sich besonders einfach netzabhängige Störungen aufspüren.

Triggerpegel und Triggerflanke: Der Triggerpegel definiert, welchen Spannungspegel das Signal an der gewählten Triggerquelle passieren muss, damit die Triggerschaltung die Zeitbasis startet. Über den Flanken-Einsteller kann gewählt werden, ob die Triggerung auf einer ansteigenden (positiven) oder fallenden (negativen) Signalflanke erfolgen soll.

Triggerkopplung: Die Triggerkopplung ist vergleichbar mit der Kopplung des vertikalen Systems. Auch hier dient die Kopplung zur Auswahl der Triggersignalkomponenten, die an die Triggerschaltung weitergeleitet werden sollen.

- DC
  Alle Signalanteile werden an die Triggerschaltung weitergeleitet

- AC
  Gleichstromanteile werden unterdrückt und Signale unter 10 Hz werden gedämpft

- Noise reject
  Hier wird der Triggerschaltung eine Hysterese hinzugefügt. Wurde die Triggerschwelle passiert, so muss das Signal zunächst einen gewissen Pegelbereich überschreiten, um erneut einen Trigger auslösen zu können. Hierdurch wird die Empfindlichkeit gegenüber eventueller Rauschanteile gesenkt.

- HF reject
  Hierdurch werden hochfrequente Signalanteile über 80 kHz gedämpft – dementsprechend eignet sich diese Kopplung besonders gut zur Unterdrückung hochfrequenter Störungen auf niederfrequenten Signalen.

- LF reject
  Wie bei der AC-Kopplung wird ein Hochpass in den Signalpfad eingefügt. Folglich werden Gleichstromanteile des Triggersignals gesperrt und niederfrequente Signalanteile unter 300 kHz stark gedämpft. Hierdurch kann z.B. der Einfluss von Netzstörungen auf den Trigger unterdrückt werden.

Die Triggerkopplung hat nur einen Einfluss auf das Signal, das in die Triggerschaltung weitergeleitet wird. Sie hat keinerlei Auswirkung auf die Bandbreite oder Kopplung des Vertikalsystems!

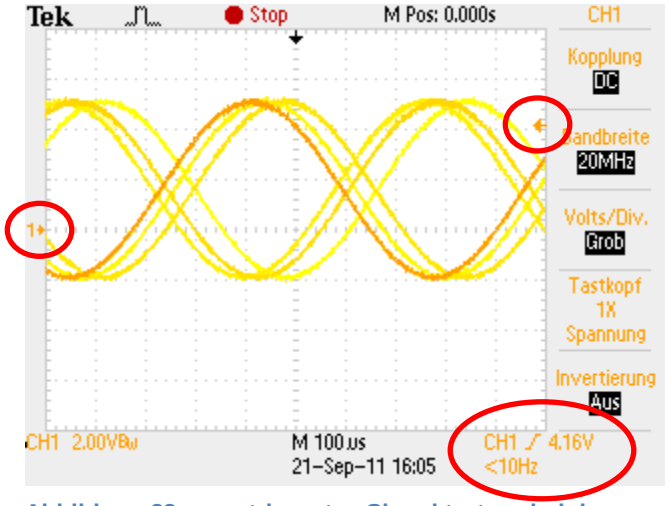


Abbildung 22: ungetriggertes Signal trotz scheinbar korrekter Triggerpegeleinstellung

So kann es in der Praxis vorkommen, dass zum Beispiel bei einem Signal mit Gleichspannungsoffset trotz scheinbar korrekt eingestelltem Triggerpegel das Signal nicht getriggert wird (Abb. 22). Der Pfeil am linken Bildschirmrand zeigt den 0 V-Bezugspegel des Messkanals an. Es fällt auf, dass das Signal nicht symmetrisch zum Bezugspegel liegt, sondern nach oben verschoben ist. Es enthält also offensichtlich einen Gleichspannungsanteil, der aufgrund der gewählten DC-Kopplung auch angezeigt wird. Der Triggerpegel wird durch den Pfeil am rechten Bildschirmrand angezeigt. Er befindet sich innerhalb der vertikalen Bewegungsbreite des Signals, es müsste

also ein Triggerereignis erkannt werden. Als Triggerquelle wurde das angezeigte Signal (CH1) gewählt, es wird auf eine positive Flanke gewartet und es muss ein Triggerspannungspegel von 4,16 V überschritten werden. Augenscheinlich werden auch alle diese Triggerparameter erfüllt – trotzdem erkennt das Oszilloskop kein Triggerereignis.

Ursache ist die unterschiedliche Kopplung von Vertikalsystem und Triggerschaltung. Dies kann beim TDS2002c mit der Taste *„Trigger View“* sichtbar gemacht werden. Da als Triggerkopplung AC gewählt wurde, wird der Gleichspannungsanteil des Eingangssignals nicht an die Triggerschaltung weitergeleitet. Die gestrichelte gelbe Linie stellt den eingestellten Triggerpegel dar und es ist nun offensichtlich, dass bei den gewählten Einstellungen kein Triggerereignis durch das Eingangssignal ausgelöst werden kann.

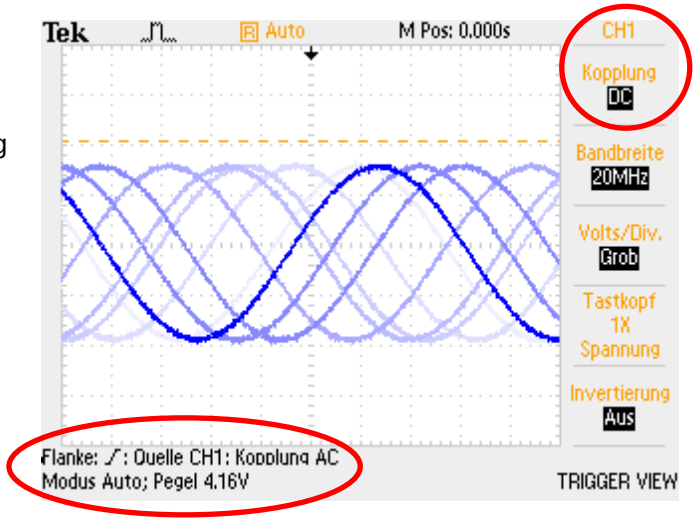


Abbildung 23: das Signal aus Abb. 22 von der Tiggerschaltung aus gesehen

3. Tastköpfe

Abbildung 24: Tastkopf

Der Tastkopf ist ein Messmittel in der Elektronik, hauptsächlich bei Messungen mit dem Oszilloskop. Mit dem Tastkopf wird die zu messende Leiterstelle berührt und so das Signal an das Oszilloskop geführt. Tastköpfe dienen also dazu, ein Messsignal von der Signalquelle zum Oszilloskop zu übertragen.

An den Tastkopf werden verschiedene Anforderungen gestellt:

Der Tastkopf soll das zu messende Signal nicht belasten, also eine möglichst hohe Eingangsimpedanz haben. Daher sollte insbesondere seine Eingangskapazität gering und sein Eingangswiderstand möglichst groß sein. Hohe Spannungen, die den Eingangsspannungsbereich des Oszilloskops übersteigen, sollen über einen Spannungsteiler an das Oszilloskop angepasst werden. Zusätzlich soll das Signal möglichst ungestört übertragen werden, daher wird in der Praxis immer ein Koaxialkabel als Messleitung verwendet, um störende äußere Felder abzuschirmen. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass keine Reflexionen auf der Messleitung auftreten.

Diese Forderungen können nicht miteinander vereint werden: entweder ist die Eingangsimpedanz gering und entspricht dem Wellenwiderstand des Kabels (Koaxialkabel, 50 Ohm) oder es werden Kompromisse hinsichtlich der oberen Grenzfrequenz und damit der Impulstreue hingenommen.

In der Praxis werden Tastköpfe deshalb oft so ausgeführt, dass sie mit dem Eingang des Oszilloskops einen kompensierten Spannungsteiler bilden, der die Kabeleigenschaften mit einbezieht. Hierzu befindet sich vorn im Tastkopf ein Widerstand R_T (Größenordung einige MΩ), der die Eingangsimpedanz der Messanordnung erhöht und die Belastung der Signalquelle verringert.

Parallel dazu ist der Kondensator C_T geschaltet (vergl. Abb.25), dessen Funktion im folgenden erläutert wird.

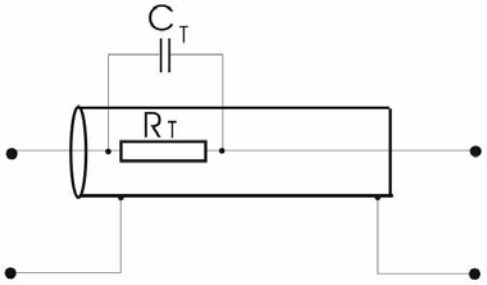


Abbildung 26: Ersatzschaltbild des Tastkopfes

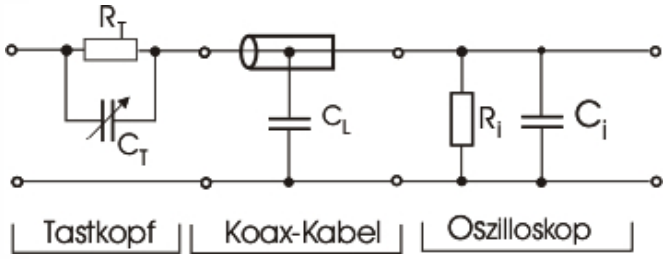


Abbildung 25: Ersatzschaltbild der Messstrecke

Die gesamte Messstrecke ist deutlich komplexer aufgebaut (vergl. Abb. 26).

Es ist zu berücksichtigen, dass das Koaxialkabel eine Kapazität C_L hat, die parallel zur Eingangskapazität des Oszilloskops C_i wirkt. Die Gesamtkapazität $C_L + C_i$ bildet zusammen mit dem Tastkopfwiderstand R_T ein RC-Glied, das als Tiefpass integrierend wirkt. Um dies zu kompensieren, ist im Tastkopf der Kondensator C_T eingebaut, der mit dem Eingangswiderstand des Oszilloskops R_i ebenfalls ein RC-Glied bildet, das als Hochpass differenzierend wirkt.

Eine vollständige Kompensation wird erreicht, wenn die Zeitkonstanten der beiden RC-Glieder (Tiefpass aus R_T, C_L und C_i sowie Hochpass aus C_T und R_i) gleich sind:

Dies ist gegeben, wenn gilt:

$$R_T \cdot (C_L + C_i) = C_T \cdot R_i$$

Das Verhältnis von R_T und C_T muss also dem Verhältnis von R_i zu $\cdot(C_L + C_i)$ gleichen.

Da die Eingangsimpedanz R_i bei verschiedenen Oszilloskopen unterschiedlich groß ist, ist der Tastkopfkondensator als Trimmkondensator ausgelegt. Seine Kapazität kann nach obiger Gleichung ausgerechnet werden. In der Praxis wird der Tastkopf abgeglichen, indem die Kapazität solange verändert wird, bis ein angelegtes Rechtecksignal unverzerrt übertragen wird.

Alternativ kann auch im Anschlussstecker des Tastkopfes ein verstellbarer zweiter Kondensator untergebracht sein, mit dessen Justage sich die Messstrecke an die Eingangskapazität des Oszilloskops anpassen lässt.

Da der Widerstand R_T zusammen mit dem Innenwiderstand des Oszilloskops R_i einen Spannungsteiler bildet, verringert sich die Messempfindlichkeit, was bei hohen Spannungen von Vorteil ist, bei niedrigen jedoch von Nachteil sein kann.

Bei den meisten Oszilloskopen lässt sich über das Channel-Menü der Teilerfaktor des Spannungsteilers einstellen, so dass die vom Oszilloskop gemessene Teilspannung automatisch auf die Eingangsspannung umgerechnet wird.

4. Kurzanleitung zum Triggern und Skalieren eines Signals

1. Zeitbasismodus im Triggermenü auf den Modus „Auto“ einstellen.

2. Kopplung des Signaleingangs über das „Channel Menü“ auf DC stellen.

3. Triggerquelle wählen und Triggerkopplung zunächst auf DC stellen.

4. Zeitbasis entsprechend der Periodendauer des Eingangssignals einstellen. Bei unbekanntem Eingangssignal mit sehr schnellen Zeitbasiseinstellungen beginnen und Zeitbasisgeschwindigkeit langsam senken. Auf mögliches Aliasing achten (vergl. S.10)

5. Empfindlichkeit und Kanalposition so einstellen, dass das Signal möglichst die volle vertikale Achse überstreicht.

6. Mittels des „Trigger View“ die optimalen Einstellungen für den Triggerpegel und die Triggerkopplung einstellen, so dass das Signal sauber getriggert wird.

7. Nun kann die Kopplung des Signaleingangs und die Empfindlichkeit sowie die Zeitbasisgeschwindigkeit noch für eine optimale Darstellung angepasst werden.

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Hoch- und Tiefpass

1. Lernziel

Filter verändern elektrische Signale, so können z.B. Signalanteile, die die weitere Verarbeitung stören, abgeschwächt werden.

In diesem Versuch untersuchen Sie die Eigenschaften eines klassischen Hoch- und Tiefpassfilters erster Ordnung. Außerdem integrieren Sie Signale mit dem Tiefpass und differenzieren mit dem Hochpass.

Anwendung finden diese Filter zum Beispiel in der Audiotechnik. So wird in einer Lautsprecherbox mit Hilfe eines **Tiefpassfilters** das Audiosignal des Verstärkers, welches hohe und tiefe Signalfrequenzen enthält, für den Basslautsprecher aufbereitet. Aufgrund seiner Eigenschaften wird der Tiefpass oftmals auch als Rauschsperre verwendet, da er hochfrequente Störsignale unterdrückt. Mit einem entsprechend dimensionierten **Hochpassfilter** hingegen lässt sich z.B. das 50 Hz –Brummen aus dem Signal eines Gesangsmikrofones herausfiltern.

Durch Verkopplung eines Hoch- und Tiefpasses kann ein **Bandpassfilter** realisiert werden. Amplituden- oder frequenzmodulierte Signale tragen den Hauptanteil ihrer Information in einem begrenzten Frequenzband. Ein Bandpass lässt ein definiertes Band an Frequenzgemischen passieren und kann daher zum Beispiel im Hochfrequenzbereich eines Radioempfängers zur Senderwahl verwendet.

2. Allgemeines

Alle Wechselspannungswerte sind, sofern nicht besonders gekennzeichnet, als Effektivwerte angegeben.

Zur **Kennzeichnung von Kondensatoren**: Kondensatorkapazitäten sind auf den Bauteilen typischerweise in µF angegeben, wenn keine Einheit aufgedruckt ist. Zusätzlich ist in der Regel eine Spannungsfestigkeit angegeben. So entspricht der Aufdruck 0.022 160V~ einem Kondensator mit einer Kapazität von 22 nF und einer Wechselspannungsfestigkeit von 160V.

Für die grafischen Darstellungen benutzen Sie bitte kariertes Papier, Millimeterpapier oder ein geeignetes Computerprogramm (z.B. MS Excel, Open Office Calc). Wählen Sie selbst einen geeigneten Maßstab**.**

Es werden nur sauber gezeichnete Grafiken anerkannt, die in Größe und Maßstab mindestens der Genauigkeit der Messung entsprechen!!

3. Vorbereitung

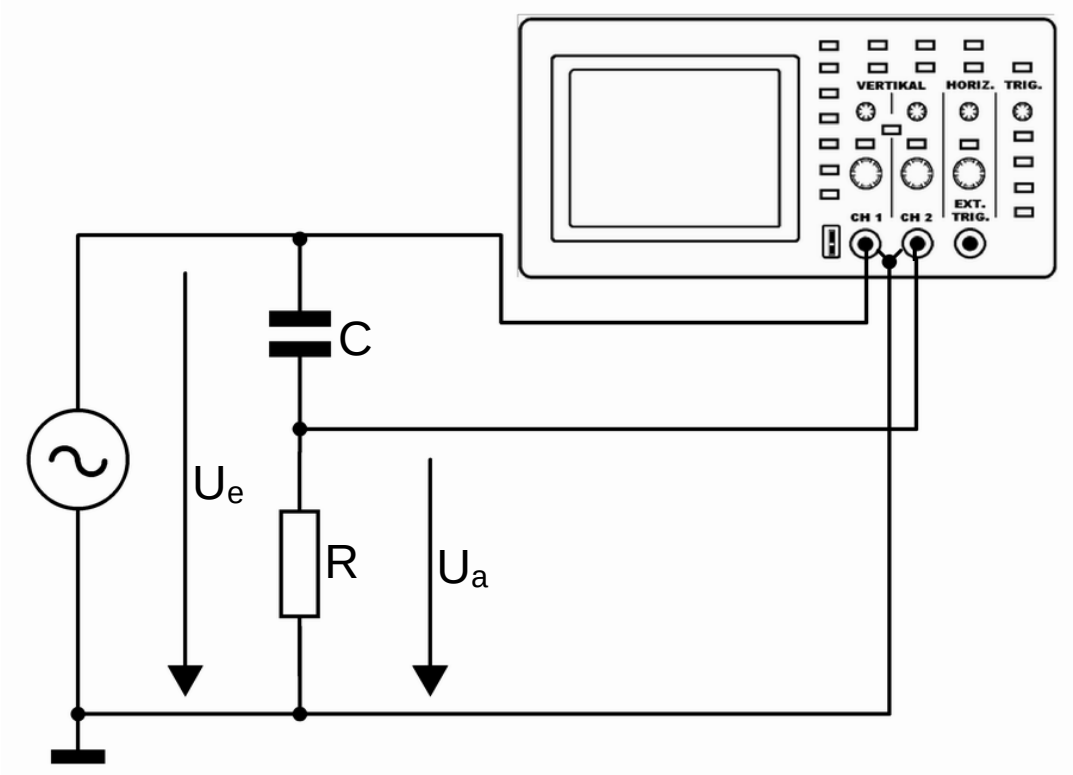
Zur Vorbereitung informieren Sie sich über das **Übertragungsverhalten** von Hoch- und Tiefpass bei einem sinusförmigen und bei einem rechteckförmigen Eingangssignal. Sie sollen außerdem wissen, was ein **Bodediagramm ist**, was **Amplituden- und Phasengang** sind, wie die **Grenzfrequenz** definiert ist, wie sich ein **Kondensator** über einen Widerstand **auf- und entlädt** und wie Spannungswerte in das **Pegelmaß dB** umgerechnet werden.

Berechnen Sie die theoretische Grenzfrequenz der Hoch- und Tiefpässe zu Aufgabe 4.1 und 4.2. Die Widerstands- und Kapazitätswerte entnehmen Sie bitte dem am Tag der Versuchseinteilung ausgeteilten Gruppenblatt.

4. Aufgaben

4.1 Hochpass

Bauen Sie den Hochpass nach Schaltung 1 auf.



Schaltung 1

- Ermitteln Sie die Werte von R und C.

R =	C =

- Bestimmen Sie die Grenzfrequenz rechnerisch mittels der gemessenen Bauteilewerte und messtechnisch aus der Übertragungsfunktion. Vergleichen Sie die ermittelten Werte mit der in der Vorbereitung theoretisch ermittelten Grenzfrequenz. Erklären Sie die auftretenden Differenzen.

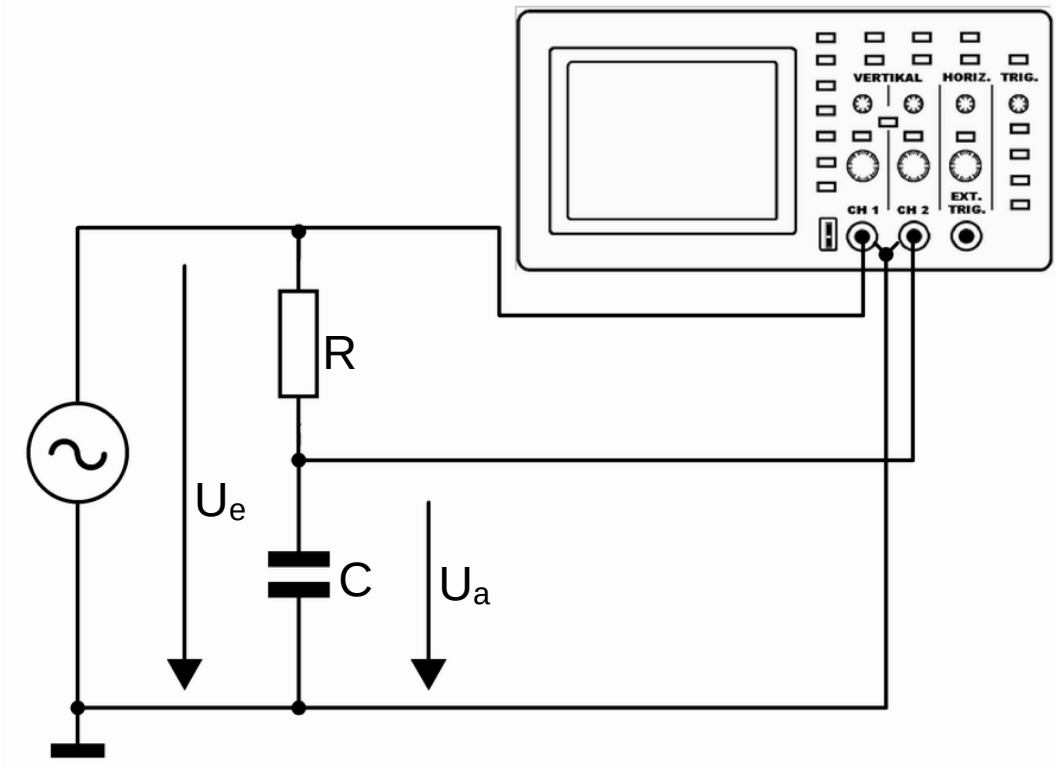
$f_{g\ theo.}$	=
$f_{g\ rech.}$	=
$f_{g\ mess.}$	=

- Messen sie den Amplitudengang und den Phasengang zwischen 100 Hz und 50 kHz. Wählen sie geeignete Frequenzabstände, die Sie am besten **vor** der Messwertaufnahme durch Durchscannen des Bereiches festlegen! Beobachten Sie den Bereich um die Grenzfrequenz besonders genau.
- Stellen Sie Amplituden- und Phasengang im Bodediagramm dar.

f 1/kHz	U_e 1/V	U_a 1/V	U_a / U_e	T 1/s	Δt 1/s	φ 1/°
0,1						
50,0						

4.2 Tiefpass

Bauen Sie den Tiefpass nach Schaltung 2 auf.



Schaltung 2

- Bestimmen Sie die Grenzfrequenz rechnerisch mittels der gemessenen Bauteilewerte und messtechnisch aus der Übertragungsfunktion. Vergleichen Sie die ermittelten Werte mit der in der Vorbereitung theoretisch ermittelten Grenzfrequenz. Erklären Sie die auftretenden Differenzen.

$f_{g\ theo.}$	=
$f_{g\ rech.}$	=
$f_{g\ mess.}$	=

- Messen sie den Amplitudengang und den Phasengang zwischen 100 Hz und 50 kHz. Wählen sie geeignete Frequenzabstände. Beobachten Sie den Bereich um die Grenzfrequenz besonders genau.

- Stellen Sie Amplituden- und Phasengang im Bodediagramm dar.

f 1/kHz	U_e 1/V	U_a 1/V	U_a / U_e	T 1/s	Δt 1/s	φ 1/°
0,1						
50,0						

4.3 Tiefpass als Integrierer

Sie sollen Sinus-, Rechteck- und Dreiecksignal mit der Tiefpassschaltung integrieren.

- Wählen Sie eine geeignete Frequenz, bei der der Tiefpass integrierend wirkt.
  Welche Bedingung muss erfüllt sein?

f

- Dokumentieren Sie Eingangs- und Ausgangsspannung phasenrichtig in einem Diagramm jeweils für Sinus-, Rechteck- und Dreiecksignal. Benutzen Sie hierzu die Oszilloskop-Software „OpenChoice“ Erläutern Sie Abweichungen zwischen dem theoretischen und dem realen Signal.

4.4 Hochpass als Differenzierer

Sie sollen Sinus-, Rechteck- und Dreiecksignal mit der Hochpassschaltung differenzieren.

- Wählen Sie eine geeignete Frequenz, bei der der Hochpass differenzierend wirkt.
  Welche Bedingung muss erfüllt sein?

f

- Dokumentieren Sie Eingangs- und Ausgangsspannung phasenrichtig in einem Diagramm jeweils für Sinus-, Rechteck- und Dreiecksignal. Benutzen Sie hierzu die Oszilloskop-Software „OpenChoice“ Erläutern Sie Abweichungen zwischen dem theoretischen und dem realen Signal.

4.5 Analyse eines unbekannten Vierpols

Nachdem Sie sich mit den Eigenschaften von Hoch- und Tiefpass vertraut gemacht haben, sollen Sie einen Vierpol mit unbekanntem Verhalten untersuchen. Es ist lediglich bekannt, dass es sich um eine RC-Kombination handelt.

- Bestimmen Sie durch Messungen mit dem Multimeter den Wert des eingebauten Widerstandes.
- Nun schließen Sie gemäß der Beschriftung des Vierpols den Frequenzgenerator an und oszilloskopieren Sie die Ein- und Ausgangssignale. Untersuchen Sie das Übertragungsverhalten mit Sinussignalen von 500 Hz sowie 50 kHz und entscheiden Sie, ob es sich um ein Hochpass- oder Tiefpassfilter handelt. Dokumentieren Sie Ihre Messungen mit der Oszilloskop-Software „OpenChoice“.
- Schalten Sie den Generator auf Rechtecksignal um. Stellen Sie die Zeitbasis des Oszilloskops so ein, dass Sie die Lade- bzw. Entladekurve des Kondensators gut erkennen können. Ermitteln Sie die Zeitkonstante τ. Dokumentieren Sie Ihre Messungen mit der Oszilloskop-Software „OpenChoice“.
- Berechnen Sie nun aus der Zeitkonstanten τ und dem Widerstandswert die Kapazität des Kondensators.

Vierpol Nr.

R =

τ =

C =

5 Verwendete Geräte

Versuchsplatine Hoch- /Tiefpass
Oszilloskop Tektronix TDS 2002C
Funktionsgenerator Hameg 8131-2
Digitalvoltmeter (DV) Fluke Typ 83/V

6 Literaturhinweise

Tietze/Schenk
Halbleiterschaltungstechnik
Springer Verlag
ISBN 3-540-42849-6

E. Hering
K. Bressler
J. Gutekunst
Elektronik für Ingenieure
Springer Verlag
ISBN 3-540-24309-7

Gebrauchsanleitung Oszilloskop
Tektronix TDS 2000 Series

Gebrauchsanleitung Digitalmultimeter
Fluke Typ 83/V

Gebrauchsanleitung Digitalmultimeter
UNIT UT803

Gebrauchsanleitung Funktionsgenerator
Hameg HM8131-2

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 4

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Halbleiterdioden und ihre Anwendung

1. Lernziel

Dieser Versuch stellt Ihnen eine Auswahl von Halbleiterdioden vor. Anhand verschiedener Anwendungsbeispiele machen Sie sich mit den Kennwerten von Gleichrichterdiode, Z-Diode, Leuchtdiode und Fotodiode vertraut und üben den Umgang mit den Datenblättern.

2. Vorbemerkung

Alle Wechselspannungswerte sind, sofern nicht besonders gekennzeichnet, als Effektivwerte angegeben.

Bemerkungen zu den Kondensatoren:
Bei den in diesem Versuch verwendeten **Elektrolytkondensatoren** handelt es sich, wie bei den Dioden, um **gepolte** Bauelemente, das heißt, die Einbaurichtung ist zu beachten! Bei der axialen (liegenden) Bauform ist der Pluspol immer an der Gehäuseseite mit der Einschnürung; zusätzlich ist oft ein Aufdruck vorhanden, der auf den Minuspol weist. Bei den radialen (stehenden) Elkos ist der Minuspol markiert; hierzu ist in der Regel ein Streifen mit Minussymbolen aufgedruckt .
Ferner sind die Kapazität in µF sowie die Spannungsfestigkeit angegeben. Der obere Kondensator auf Bild 1 hat somit links den Pluspol, eine Kapazität von 220µF und ist für eine maximale Spitzenspannung von 35V ausgelegt.

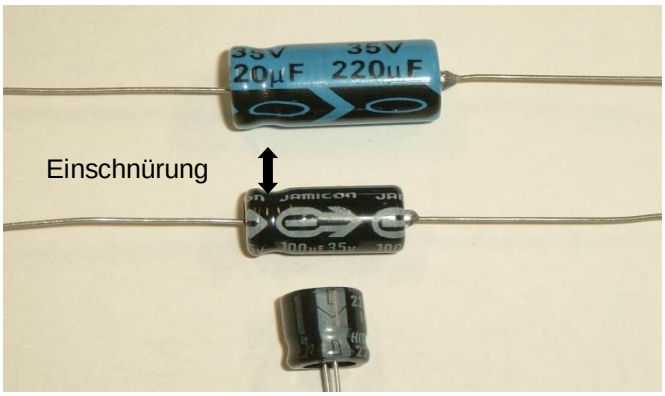


Bild 1: Kennzeichnung von Elektrolytkondensatoren

3. Vorbereitung

Für diesen Versuch müssen Sie folgende Sachverhalte und Fachbegriffe verstanden haben und erklären können:

- Leitungsmechanismus in Halbleitern
- p- und n- Dotierung
- pn-Übergang
- Durchlaßrichtung und Sperrichtung
- Kennlinien von Diode, Z-Diode, LED und Fotodiode
- grafische Arbeitspunktbestimmung aus der Kennlinie
- Kennwerte (U_F, I_F, U_R, I_R, Grenzwerte)
- Einweggleichrichter
- Vollweggleichrichter
- Brummspannung
- Verlustleistung
- Welligkeit

Vervollständigen Sie das Vorbereitungsarbeitsblatt „Kenndaten“. Die Datenblätter finden Sie auf der Laborhomepage unter „Links“.
Berechnen Sie die Vorwiderstände zu Aufgabe 4.1 und 4.3.
Bei welchen Dioden darf das Voltmeter, welches in Bild 3 zur Messung der Spannung U_R eingezeichnet ist, **nicht** verwendet werden? Wie kann U_R alternativ ermittelt werden?

Version 1.7
Stand WS 2013 / 2014

4. Aufgaben

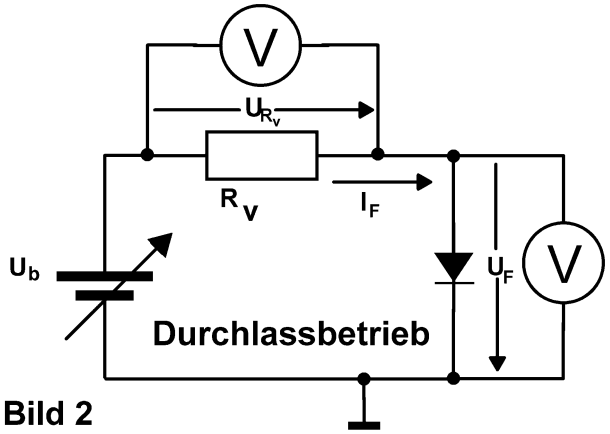


Bild 2

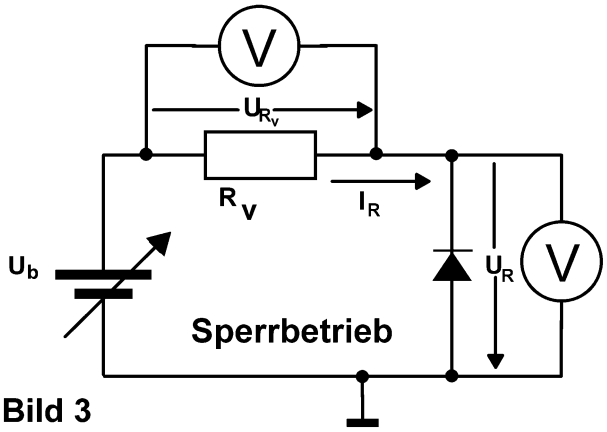


Bild 3

4.1. Diode

Sie sollen mit den Schaltungen gemäß Bild 2 und Bild 3 die Gleichstrom-Kennlinie einer Diode vom Typ 1N4006 zwischen –10 V und +0,8 V aufnehmen. Als Betriebsspannung der Schaltungen soll eine Spannung von maximal 10V verwendet werden.

- Wie ist der Vorwiderstand R_V zu dimensionieren, wenn im Durchlassbetrieb ein maximaler Strom von 100 mA nicht überschritten werden soll?

R_V =_____

- Zum Aufnehmen der Kennlinie messen Sie U_{RV} und U_F bzw. U_R mit dem Multimeter. Verwenden Sie im **Durchlassbetrieb (Bild 2) den zuvor berechneten Vorwiderstand R_V**. Verwenden Sie für den **Sperrbetrieb (Bild 3) als Vorwiderstand R_V = 510 kΩ**. Darf U_R wie in Bild 3 dargestellt ermittelt werden?

- Ermitteln Sie folgende Kenndaten der Diode:
  - Sperrstrom I_R bei U_R = 10 V
  - die **Größenordnung** des Gleichstromwiderstandes im Sperrbetrieb (Was würde bei der Messung des Sperrstromes passieren, wenn man die Diodenspannung mit dem Oszilloskop messen würde?)
  - Durchlassspannung U_F bei I_F = 10 mA, 20 mA, 30 mA
  - Differentieller Widerstand r_D bei I_F = 10 mA, 20 mA, 30 mA
- Zeichnen Sie die Kennlinie und kennzeichnen Sie den Sperr- und Durchlassbereich.
- Welche Angaben finden Sie im Datenblatt zum Diodenstrom? Stimmen Ihre Ergebnisse mit den Herstellerangaben überein?

4.2. Z-Diode

Nehmen Sie die Kennlinie der Diode ZPD 5.1 auf. Bauen Sie hierzu die Schaltungen entsprechend Bild 2 und 3 auf und verwenden Sie sowohl im Sperr- als auch im Durchlassbetrieb einen Vorwiderstand von R_V = 100 Ω. Darf U_R wie in Bild 3 dargestellt ermittelt werden?

- Zeichnen Sie die Kennlinie und tragen Sie die Widerstandsgerade für R_V = 100 Ω ein. Ermitteln Sie grafisch den Arbeitspunkt.

- Ermitteln Sie mit dem Multimeter die Durchbruchspannung. Liegt der Wert innerhalb der vom Hersteller angegebenen Toleranzen?
- Wie verhalten sich die Spannungsabfälle an der Diode und an R_V, wenn die Eingangsspannung zwischen 7 V und 10 V schwankt?

4.3. Leuchtdiode (LED)

Eine Leuchtdiode vom Typ TLDR 5400 soll in Durchlassrichtung an eine Versorgungsspannung von 5V angeschlossen werden.

- Berechnen Sie anhand des Datenblattes den Vorwiderstand R_V.

R_V =_____

- Überprüfen Sie mit dem Multimeter U_F und I_F.

4.4. Fotodiode

Betreiben Sie eine Fotodiode vom Typ BPW 43 bei U_B = 5 V mit R_V = 10 kΩ
(Ist sie in Sperr- oder Durchlassbetrieb zu betreiben?)

- Messen Sie den Dunkelstrom und den Strom bei Lichteinfall über den Spannungsabfall an R_V.
- Machen Sie anhand der Angaben im Datenblatt eine ungefähre Aussage über den Energieeinfall pro cm²
- Nennen Sie Einsatzmöglichkeiten der Fotodiode.
  (Bei Interesse, informieren Sie sich über den Unterschied zum Fotowiderstand und zum Fototransistor)

4.5. Einweggleichrichtung

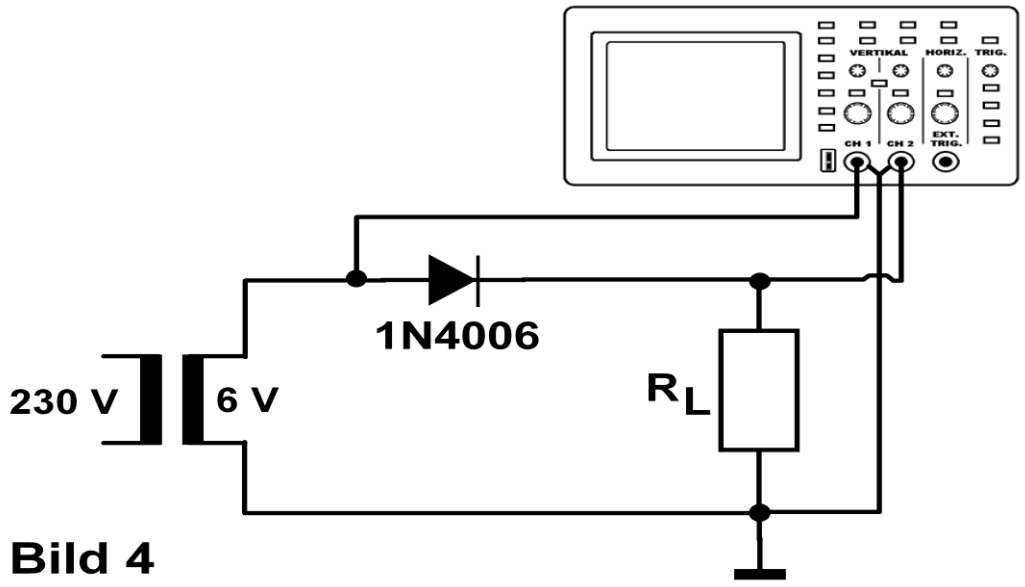


Bild 4

Bauen Sie die Einweggleichrichterschaltung (Bild 4) auf. Sehen Sie für den Belastungswiderstand R_L einen Wert von 470 Ω vor.

- Oszilloskopieren Sie die Eingangs- und die Ausgangsspannung und zeichnen Sie die Verläufe ab. Achten Sie hierbei auf den korrekten zeitlichen Maßstab. Verwenden Sie ggf. das Scopetool.
- Messen und berechnen Sie die effektive Ausgangsspannung.
- Ermitteln Sie die Frequenz der Ausgangsspannung.
- Wie groß ist die Leistung, die im Widerstand umgesetzt wird? Wie groß ist die Leistung, die in der Diode umgesetzt wird?

Setzen Sie nun in die Gleichrichterschaltung einen Glättungskondensator von 220 µF ein.

- Zeichnen Sie U_e und U_a vom Oszilloskop ab. Begründen Sie den Verlauf von U_a.
- Messen Sie die Ausgangsspannung U_a mit dem Multimeter.
- Ermitteln Sie mit dem Multimeter den Wechselspannungsanteils der Ausgangsspannung.
- Warum wird diese Wechselspannung auch Brummspannung genannt? Wovon ist die Höhe dieser Brummspannung abhängig?

4.6. Ein einfaches Gleichspannungsnetzteil mit Vollweggleichrichter

Die hier vorgestellte Schaltung wird in der Praxis in Applikationen, bei denen nur geringe Anforderungen an die Stabilität und Restwelligkeit der Betriebsspannung gestellt werden, vielfach eingesetzt.
Der Widerstand R dient zur Begrenzung von Einschaltstromspitzen, die im Einschaltmoment beim erstmaligen Aufladen des Kondensators auftreten. Ohne diese Strombegrenzung wird der Kondensator auf Dauer geschädigt, wodurch es zu einem frühzeitigen Ausfall der Schaltung kommt.

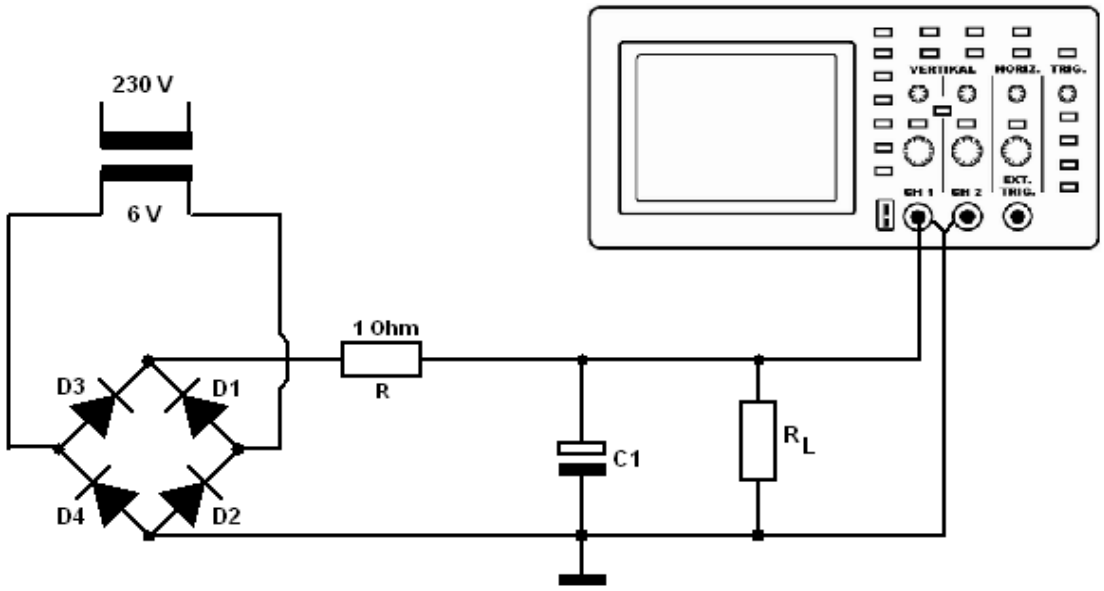


Bild 5

Bauen Sie das Gleichspannungsnetzteil (Bild 5) auf, zunächst ohne den Glättungskondensator C_1. Sehen Sie für den Belastungswiderstand R_L einen Wert von 470 Ω vor.

- Oszilloskopieren Sie die Eingangs- und die Ausgangsspannung und zeichnen Sie die Verläufe ab. Achten Sie hierbei auf den korrekten zeitlichen Maßstab. Verwenden Sie ggf. das Scopetool.
- Messen Sie die effektive Ausgangsspannung.
- Ermitteln Sie die Frequenz der Ausgangsspannung.
- Vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Einweggleichrichterschaltung.

Setzen Sie nun in die Gleichrichterschaltung einen Glättungskondensator von 220 µF ein.

- Zeichnen Sie U_e und U_a vom Oszilloskop ab. Begründen Sie den Verlauf von U_a.
- Messen Sie die Ausgangsspannung U_a mit dem Multimeter.
- Ermitteln Sie mit dem Multimeter den Wechselspannungsanteils der Ausgangsspannung.
- Vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Einweggleichrichterschaltung.

Untersuchen Sie das Netzteil hinsichtlich seines Lastverhaltens. Variieren Sie hierzu den Lastwiderstand R_L = 4,7kΩ, 1 kΩ, 470 Ω und 220 Ω. Messen Sie U_e, die effektive Ausgangsspannung U_a sowie den Wechselspannungsanteil U_{Brumm} der Ausgangsspannung. Berechnen Sie die Welligkeit w.

R_L / Ω	**U_e / V**	**U_a / V**	**U_{Brumm} / V**	**w**
4700				
1000				
470				
220				

- Erläutern Sie Ursachen für das Absinken der Eingangsspannung U_e.
- Erklären Sie die Veränderung der Welligkeit.

5. Verwendete Geräte

Oszilloskop Tektronix TDS 210
Digitalvoltmeter (DV) Fluke Typ 83/V , 87/III, 179
Labornetzgerät Hameg HM7042-5
Versuchsplatine Halbleiterdioden
Versuchsplatine Netzteile
Verschiedene Halbleiterdioden:
- 1N4006
- ZPD 5.1
- TLDR 5400
- BPW 43

6. Literaturhinweise

Tietze/Schenk
Halbleiterschaltungstechnik
Springer Verlag
ISBN 3-540-42849-6

E. Hering
K. Bressler
J. Gutekunst
Elektronik für Ingenieure
Springer Verlag
ISBN 3-540-24309-7

Gebrauchsanleitung
Tektronix TDS 200 Series

Gebrauchsanleitung
Fluke Typ 83/V

Datenblätter

1N4006	Motorola
ZPD 5.1	Diotec
TLDR 5400	Vishay-Telefunken
BPW 43	Vishay-Telefunken

Aktuelle Datenblätter können auch unter www.alldatasheet.com kostenlos bezogen werden

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 4
Vorbereitung
Kenndaten

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Diode 1N4006

- Ermitteln Sie aus dem Datenblatt folgende Kenndaten:
  - die über eine Halbwelle gemittelte Durchlassspannung $U_{F_{AV}}$ = _____
    sowie den zugehörige Strom I_F = _____
  - die maximal zulässige Sperrspannung U_R = _____
  - den typischen Sperrstrom bei Raumtemperatur I_R = _____

- Wie ist der Vorwiderstand R_V zu dimensionieren, wenn im Durchlassbetrieb ein maximaler Strom von 100 mA nicht überschritten werden soll?

U_F = _____ $U_{B_{max}}$ = _____ $I_{F_{max}}$ = _____

R_V = _____

Z-Diode ZPD 5.1

- Ermitteln Sie aus dem Datenblatt folgende Kenndaten:
  - die maximal zulässige Verlustleistung P_V = _____
  - die Zenerspannung U_Z = _____
    sowie den zugehörige Strom I_Z = _____

Version 1.0
Stand WS 2013 / 2014

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 4
Vorbereitung
Kenndaten

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Leuchtdiode (LED) TLDR 5400

- Ermitteln Sie aus dem Datenblatt folgende Kenndaten:
  - die maximal zulässige Sperrspannung U_R = _____
  - den maximal dauerhaft zulässigen Durchlassstrom $I_{F_{max.}}$ = _____
  - den empfohlenen Betriebsstrom I_F = _____

    sowie die zugehörige Durchlassspannung U_F = _____

- Wie ist der Vorwiderstand R_V zu dimensionieren?

  U_F = _____ U_B = _____ I_F = _____

  R_V = _____

- Ist das Gehäuse der Leuchtdiode klar oder farbig? _____

Fotodiode BPW 43

- Sie wollen die Diode zur Helligkeitsmessung verwenden. Ist sie hierzu in Sperr- oder Durchlassbetrieb zu betreiben? _____

Die Diode wird an einer Spannungsquelle mit 5 V betrieben.

- Wie groß ist der typische Dunkelsperrstrom bei Raumtemperatur und bei 60 °C?

  $I_{R_{25\,°C}}$ = _____ $I_{R_{60\,°C}}$ = _____

Die einfallende Lichtintensität betrage 0,1 mW / cm².

- Wie groß ist der nun fließende Strom?

  $I_{R_{hell}}$ = _____

Version 1.0
Stand WS 2013 / 2014

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 4
Auswertungshilfe

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

4.1 Diode

- Wie ist der Vorwiderstand R_V zu dimensionieren, wenn im Durchlassbetrieb ein maximaler Strom von 100 mA nicht überschritten werden soll?

  U_F =_____ $U_{B\ max.}$ = _____ $I_{Fmax.}$ =_____

  R_V =_____

- Ermitteln Sie folgende Kenndaten der Diode:

  - Sperrstrom I_R bei U_R = 10 V I_R = _____
  - **Größenordnung** des Gleichstromwiderstandes im Sperrbetrieb R_{Sperr} = _____
  - Warum darf nicht parallel mit dem Oszilloskop gemessen werden?

  - Durchlassspannung U_F bei I_F = 10 mA, 20 mA, 30 mA

    $U_{F@10mA}$ =_____ $U_{F@20mA}$ =_____ $U_{F@30mA}$ =_____

  - Differentieller Widerstand r_D bei I_F = 10 mA, 20 mA, 30 mA

    $U_{F@9mA}$ =_____ $U_{F@11mA}$ =_____ ΔU_F =_____

    $r_{D@10mA}$ =_____

    $U_{F@19mA}$ =_____ $U_{F@21mA}$ =_____ ΔU_F =_____

    $r_{D@20mA}$ =_____

    $U_{F@29mA}$ =_____ $U_{F@31mA}$ =_____ ΔU_F =_____

    $r_{D@30mA}$ =_____

Version 1.2
Stand SS 2010

- Welche Angaben finden Sie im Datenblatt zum Diodenstrom? Stimmen Ihre Ergebnisse mit den Herstellerangaben überein?

  Datenblatt: I_R =_____ bei U_R =_____ und ϑ=_____

  Messwerte: I_R =_____ bei U_R =_____ und ϑ=_____

  Wie erklären Sie die Abweichungen zwischen dem gemessenen Wert und der Datenblattangabe?

- Zeichnen Sie die Kennlinie und kennzeichnen Sie den Sperr- und Durchlassbereich.

4.2. Z-Diode

- Zeichnen Sie die Kennlinie und tragen Sie die Widerstandsgerade für R_V = 100 Ω und U_E = 7V ein. Ermitteln Sie grafisch den Arbeitspunkt.

  Spannung am Vorwiderstand U_R =_____

  Zenerspannung an der Diode U_Z =_____

  Strom im Arbeitspunkt I_Z =_____

- Ermitteln Sie mit dem Multimeter die Durchbruchspannung. Liegt der Wert innerhalb der vom Hersteller angegebenen Toleranzen?

  Datenblattangabe: U_Z =_____ bei I_Z =_____

  Messwert: U_Z =_____ bei I_Z =_____

- Wie verhalten sich die Spannungsabfälle an der Diode und an R_V, wenn die Eingangsspannung zwischen 7 V und 10 V schwankt?

4.3. Leuchtdiode (LED)

- Berechnung von R_V

U_F = _____ U_B = _____ I_F = _____

R_V =

- Überprüfen Sie mit dem Multimeter U_F und I_F

U_F = _____ I_F = _____

- Entspricht die Diode den Spezifikationen und ist ein sicherer Betrieb gewährleistet?

4.4. Fotodiode

Betreiben Sie eine Fotodiode vom Typ BPW 43 bei U_B = 5 V mit R_V = 10 kΩ

- Ist sie in Sperr- oder Durchlassbetrieb zu betreiben? _____
- Messen Sie den Dunkelstrom und den Strom bei Lichteinfall über den Spannungsabfall an R_V.

U_{Rv} = _____ I_{Hell} = _____

U_{Rv} = _____ I_{Dunkel} = _____

- Machen Sie anhand der Angaben im Datenblatt eine ungefähre Aussage über den Energieeinfall pro cm²

4.5. Einweggleichrichtung

- Oszilloskopieren Sie die Eingangs- und die Ausgangsspannung und zeichnen Sie die Verläufe ab. Achten Sie hierbei auf den korrekten zeitlichen Maßstab. Verwenden Sie ggf. das Scopetool.

- Messen und berechnen Sie die effektive Ausgangsspannung.

  U_a als Effektivwert mit dem Oszilloskop gemessen: _____

  $\hat{U}_a$ als Amplitudenwert mit dem Oszilloskop gemessen: _____

  Formel zur Berechnung von U_a aus dem gemessenen Amplitudenwert

  U_a als Effektivwert aus dem Amplitudenwert berechnet: _____

- Ermitteln Sie die Frequenz der Ausgangsspannung. _____

- Wie groß ist die Leistung, die im Widerstand umgesetzt wird?

- Wie groß ist die Leistung, die in der Diode umgesetzt wird?

Setzen Sie nun in die Gleichrichterschaltung einen Glättungskondensator von 220 µF ein.

- Zeichnen Sie U_e und U_a vom Oszilloskop ab. Begründen Sie den Verlauf von U_a.

- Messen Sie die Ausgangsspannung U_a mit dem Multimeter. _____

- Ermitteln Sie mit dem Multimeter den Wechselspannungsanteils der Ausgangsspannung.

  _____

- Warum wird diese Wechselspannung auch Brummspannung genannt? Wovon ist die Höhe dieser Brummspannung abhängig?

4.6. Gleichspannungsnetzteil mit Vollweggleichrichter

Bauen Sie das Gleichspannungsnetzteil (Bild 5) auf, zunächst ohne den Glättungskondensator C_1. Sehen Sie für den Belastungswiderstand R_L einen Wert von 470 Ω vor.

- Oszilloskopieren Sie die Eingangs- und die Ausgangsspannung und zeichnen Sie die Verläufe ab. Achten Sie hierbei auf den korrekten zeitlichen Maßstab. Verwenden Sie ggf. das Scopetool.

- Messen Sie die effektive Ausgangsspannung. _____

- Ermitteln Sie die Frequenz der Ausgangsspannung. _____

- Vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Einweggleichrichterschaltung.

Setzen Sie nun in die Gleichrichterschaltung einen Glättungskondensator von 220 µF ein.

- Zeichnen Sie U_e und U_a vom Oszilloskop ab. Begründen Sie den Verlauf von U_a.

- Messen Sie die Ausgangsspannung U_a mit dem Multimeter. _____

- Ermitteln Sie mit dem Multimeter den Wechselspannungsanteils der Ausgangsspannung.

  _____

- Vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Einweggleichrichterschaltung.

Untersuchen Sie das Netzteil hinsichtlich seines Lastverhaltens. Variieren Sie hierzu den Lastwiderstand R_L = 4,7kΩ, 1 kΩ, 470 Ω und 220 Ω. Messen Sie U_e, die effektive Ausgangsspannung U_a sowie den Wechselspannungsanteil U_{Brumm} der Ausgangsspannung. Berechnen Sie die Welligkeit w.

R_L / Ω	**U_e / V**	**U_a / V**	**U_{Brumm} / V**	**w**
4700				
1000				
470				
220				

- Erläutern Sie Ursachen für das Absinken der Eingangsspannung U_e. (Innenwiderstand der Quelle)

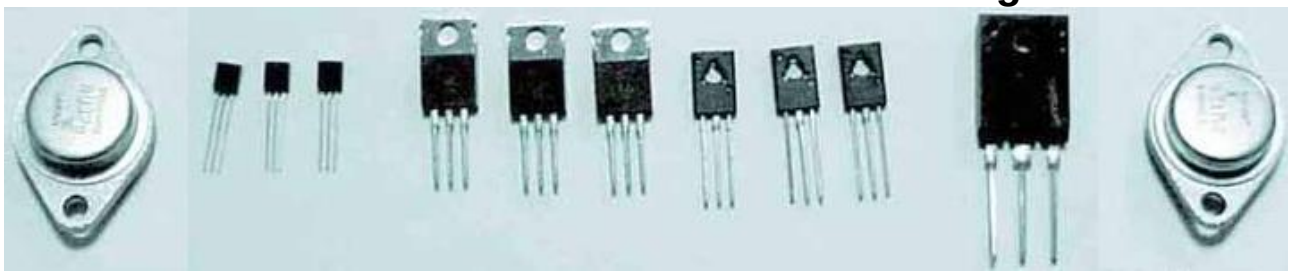
- Erklären Sie die Veränderung der Welligkeit. (Zeitkonstante τ)

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 5

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Der Transistor und seine Anwendung



1. Lernziel

In diesem Versuch machen Sie sich mit dem NPN-Transistor 2N2219, einem seit vielen Jahren bewährten Kleinsignal- und Schalttransistor, seinen Eigenschaften, Problemen von Transistoren und einigen gängigen Transistorgrundschaltungen vertraut.

2. Vorbemerkung

Alle Wechselspannungswerte sind, sofern nicht besonders gekennzeichnet, als Effektivwerte angegeben.

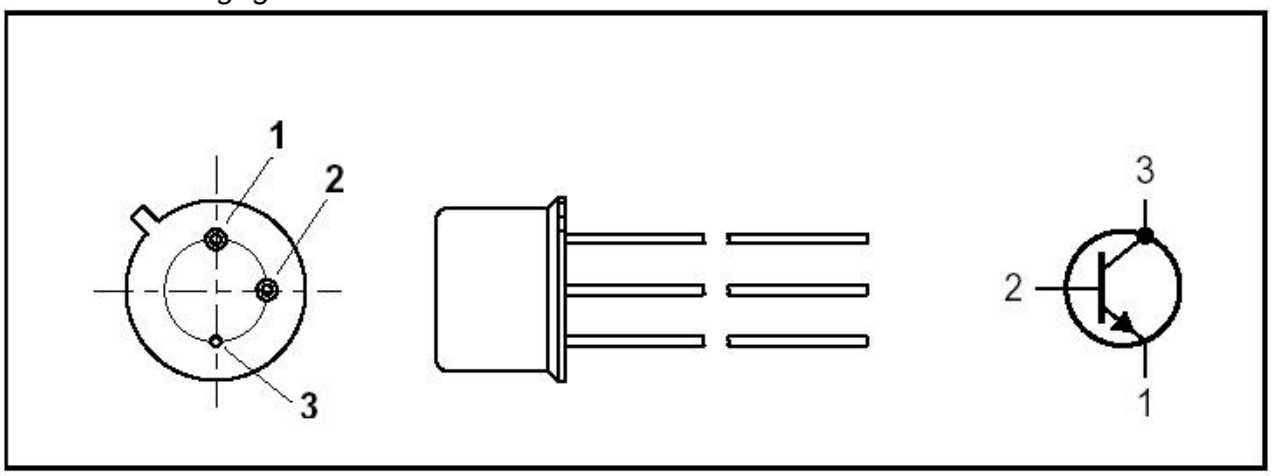


Bild1: Kennzeichnung der Anschlüsse

Anschlussbilder von Transistoren werden typischerweise in der Ansicht auf die Pins, also von unten auf den Gehäuseboden des Transistors, gezeichnet. Um sich den Schaltungsaufbau zu vereinfachen, machen Sie sich eine Skizze, in der Sie die Anschlüsse in Aufsicht auf den Transistor markieren.

3. Vorbereitung

Für diesen Versuch müssen Sie folgende Schaltungen, Sachverhalte und Fachbegriffe verstanden haben und erklären können:

- Kennlinien von Transistoren
- Gleichstromverstärkung
- Verlustleistung und thermisches Verhalten von Transistoren
- Transistor als Schalter
- Emitterschaltung, Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung und Kollektorschaltung
- Ein- und Ausgangswiderstand einer Schaltung
- Spannungs-, Strom- und Leistungsverstärkung
- Frequenzgang, untere und obere Grenzfrequenz, Transitfrequenz

Version 1.8
Stand SS 2013

- Überlegen Sie, warum die Schaltung 5 (Bild6) eine Kollektorschaltung ist.
- Berechnen Sie Emitterschaltung (Bild 4) die Gleichspannungen an den Messpunkten MP1, MP2, und MP3 sowie U_{BE} und U_{CE} . Gehen Sie von einem Kollektorgleichstrom von I_C = 35 mA aus. Vernachlässigen Sie den Basisstrom ($I_B \approx 0$ mA).
- Warum wirkt die Stromgegenkopplung in dieser Schaltung nur für die Gleichspannung also für die Einstellung des Arbeitspunktes und nicht für die zu verstärkende Wechselspannung?

	MP1	MP2	MP3	U_{BE}	U_{CE}
gerechnet					
gemessen					

Tabelle 1: Spannungen in der Emitterschaltung

Berechnen Sie die theoretisch zu bestimmenden Werte auf dem Arbeitsblatt (Tabelle 2 – siehe Anhang) für alle Schaltungen. Wählen Sie für β einen mittleren Wert aus dem Datenblatt und nehmen Sie r_{CE} = 1000 Ω an. r_{BE} können Sie aus I_C (s.o.) bestimmen. Die Formeln entnehmen Sie z.B. Ihrem Vorlesungsskript oder der unten angegebenen Literatur.

4. Aufgaben

4.1. Gleichstromeigenschaften des Transistors

4.1.1. Gleichstromverstärkung

Ziel dieser Aufgabe ist es, die Gleichstromverstärkung B des Transistors zu messen. Außerdem sollen Sie den Einfluss der Eigenerwärmung beobachten.

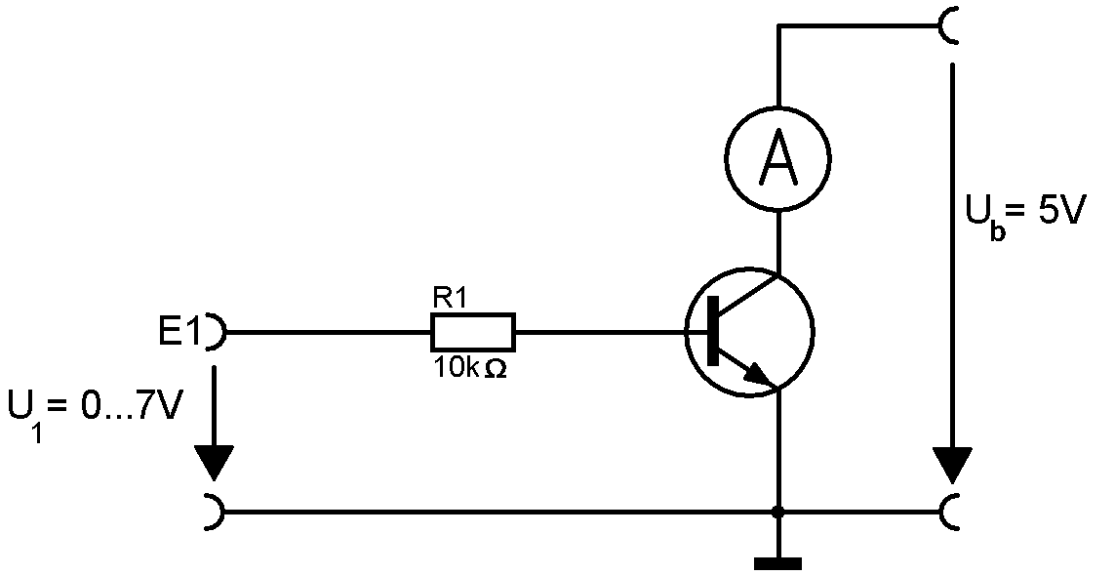


Bild 2: Schaltung 1 - Ermittelung der Gleichstromverstärkung

Bauen Sie die Schaltung gemäß Bild 2 auf. Schließen Sie an die Eingangsbuchse E1 eine Gleichspannungsquelle an und stellen Sie Spannungen von 0 bis 7 V ein (siehe Tabelle 2).

Da am Transistor bei größeren Kollektorströmen eine beträchtliche Verlustleistung entsteht und er sich somit stark erwärmt, werden die Messwerte nicht statisch sein, Sie müssen die Messwerte daher zügig nach dem Einstellen der jeweiligen Eingangsspannung aufnehmen. Messen Sie den Kollektorstrom I_C, den Basisstrom über den Spannungsabfall an R_1 sowie die Basis-Emitterspannung U_{BE} und berechnen Sie die Gleichstromverstärkung B. „Erfühlen" Sie die Änderung der Transistortemperatur.
Wichtig: Brechen Sie den Versuch beim Auftreten von Kollektorströmen I_C >160mA ab.

U_E / V	U_{BE} / V	U_{R1} / V	I_B / µA (aus U_{R1})	I_C / mA	B
0					
0,5					
0,6					
0,7					
1,0					
1,5					
2,0					
2,5					
3,0					
4,0					
5,0					
6,0					
7,0					

Tabelle 2 – Ermittelung der Gleichstromverstärkung

Nach beendeter Messwertaufnahme schalten Sie Eingangs- und Betriebsspannung ab und lassen den Transistor 2-3 Minuten abkühlen.

4.1.1. Transistor als Schalter / Verlustleistung

Modifizieren Sie die Schaltung gemäß Bild 3.

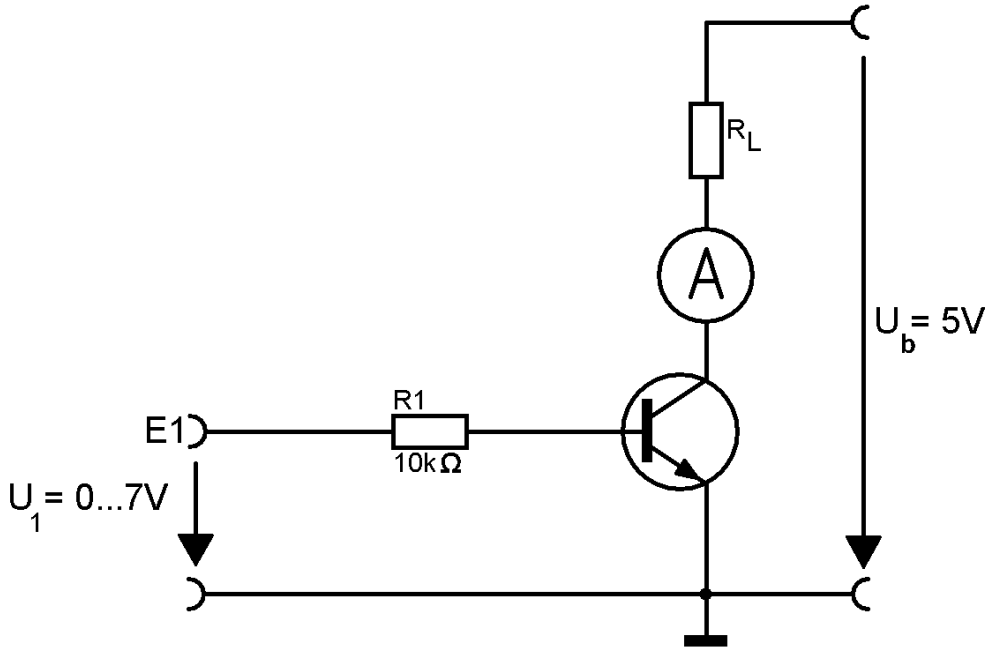


Bild 3: Schaltung 2 - Transistor als Schalter

Ermitteln Sie für verschiedene Lastwiderstände R_L die im Transistor umgesetzte Verlustleistung P_V.
Messen Sie hierzu den Kollektorstrom I_C, die Kollektor-Emitterspannung U_{CE} , den Basisstrom I_B über den Spannungsabfall an R_1 sowie die Basis-Emitterspannung U_{BE}.

R_L / Ω	U_{BE} / V	U_{R1} / V	I_B / µA (aus U_{R1})	I_C /mA	U_{CE} / V	P_V / mW
Glühlampe						
22						
100						
470						
1000						

Tabelle 3

Ersetzen Sie den Lastwiderstand nun durch einen Kurzschluss.
Stellen Sie nun eine Eingangsspannung von 7 V ein und nehmen Sie die Schaltung in Betrieb. Beobachten Sie dabei den Basisstrom I_B, den Kollektorstrom I_C und „erfühlen“ Sie die Temperaturänderung des Transistors über einen Zeitraum von 3 Minuten.

t / s	U_{BE} / V	U_{R1} / V	I_B / µA (aus U_{R1})	I_C /mA	U_{CE} / V	B	P_V / mW
0							
30							
60							
90							
120							
150							
180							

Tabelle 4

- Wodurch ist der Anstieg des Kollektorstroms zu erklären?

4.2. Wechselstromeigenschaften des Transistors

4.2.1. Emitterschaltung

Arbeitspunkt: Bauen Sie die Emitterschaltung auf und messen Sie die Gleichspannungen an den Messpunkten MP1, MP2 und MP3 und vergleichen Sie sie mit den theoretischen Werten aus der Vorbereitung (Tabelle 1). Diese Arbeitspunkteinstellung bleibt auch bei den folgenden Schaltungen erhalten.

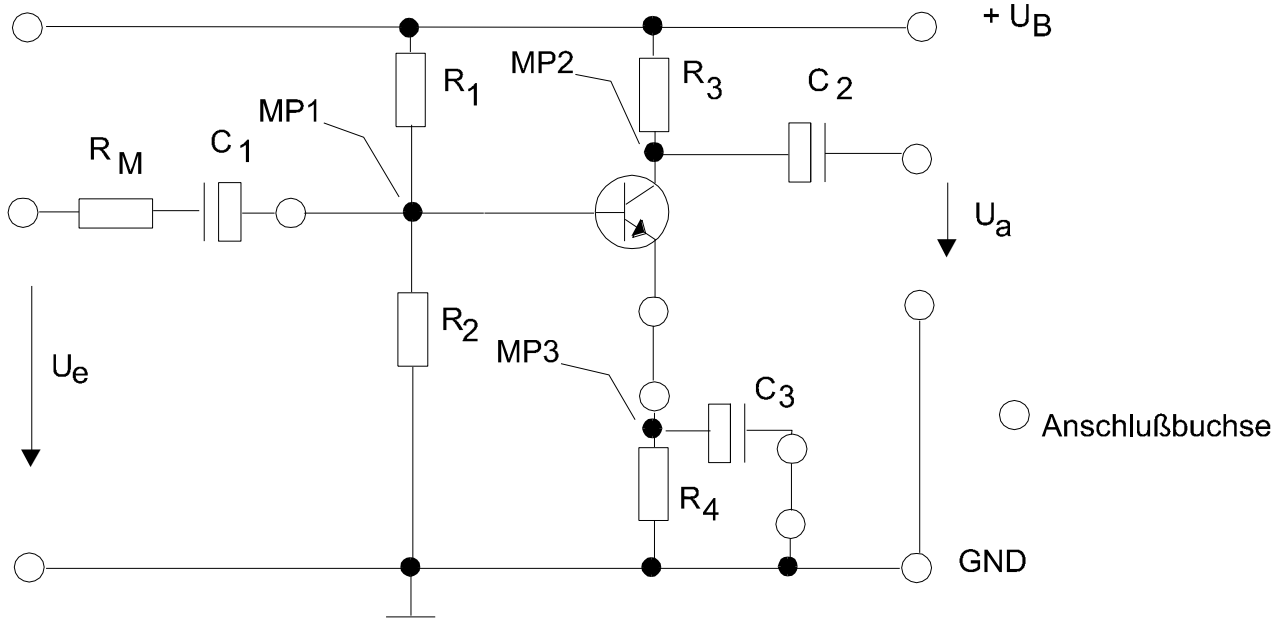


Bild 4: Schaltung 3 - Emitterschaltung

U_B =15 V, C_1 = C_3 = 220 µF, C_2 = 100 µF,
R_1 = 8200 Ω, R_2 = 1000 Ω, R_3 = 220 Ω, R_4 = 22 Ω, R_M = 100 Ω
R_M ist ein sog. Shuntwiderstand. Aus dem Spannungsabfall am Widerstand können Sie den Eingangsstrom i_e bestimmen.

Wechselstromeigenschaften: Legen Sie an den Eingang der Schaltung ein Sinus-Signal, 1 kHz, 50 mV_{SS}

Messen Sie die **Wechselstromgrößen (AC!):**

- Spannung u_{RM} am Messwiderstand R_M (zur Berechnung von i_e),
- Ausgangswechselspannung u_a
- Ausgangswechselspannung u_{aL} mit einem am Ausgang eingefügten Lastwiderstand R_L= 220 Ω. Berechnen Sie mit u_{aL} den Ausgangsstrom i_a.
- Ermitteln Sie aus den Messwerten r_{ein}, r_{aus}, v_u, v_i und v_p und tragen Sie die Ergebnisse in das Arbeitsblatt ein. (Bestimmen Sie $r_{aus} = -du_a/di_a$ aus der Änderung von u_a und i_a bei Einfügen von R_L).
- Messen Sie f_u und f_o und berechnen Sie die Transitfrequenz. Nehmen Sie dazu an, dass die Frequenzbeschränkungen durch Hoch- und Tiefpassverhalten der Transistorschaltung entstehen.

4.2.2. Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

Bauen Sie die Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung auf.

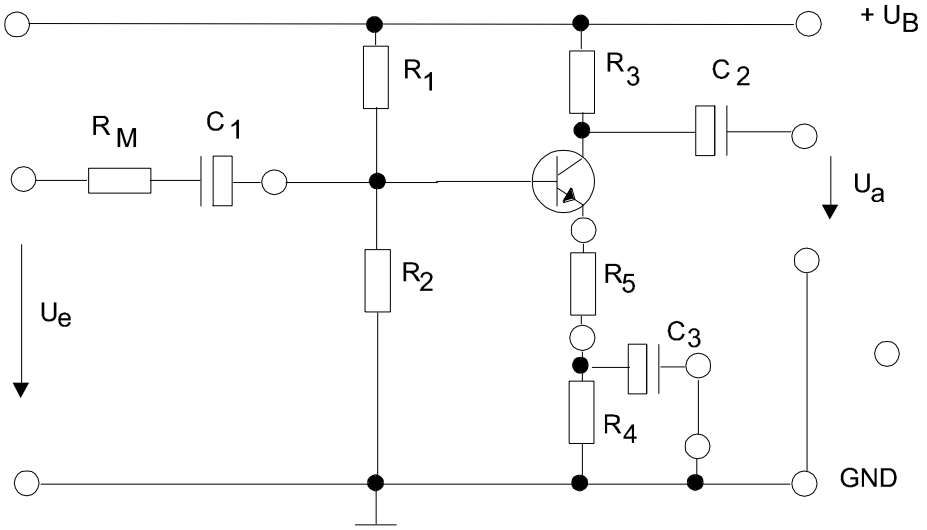


Bild 5: Schaltung 4 - Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

U_B =15 V, C_1 = C_3 = 220 µF, C_2 = 100 µF,
R_1 = 8200 Ω, R_2 = 1000 Ω, R_3 = 220 Ω, R_4 = 12 Ω, R_5 = 10 Ω, R_L = 220 Ω, R_M = 100 Ω

Wechselstromeigenschaften: Legen Sie an den Eingang der Schaltung ebenfalls das Sinus-Signal, 1 kHz, 50 mV_{SS} und messen Sie entsprechend 4.2.1 die für das Arbeitsblatt benötigten Größen.

4.2.3. Kollektorschaltung

Bauen Sie die Kollektorschaltung auf.

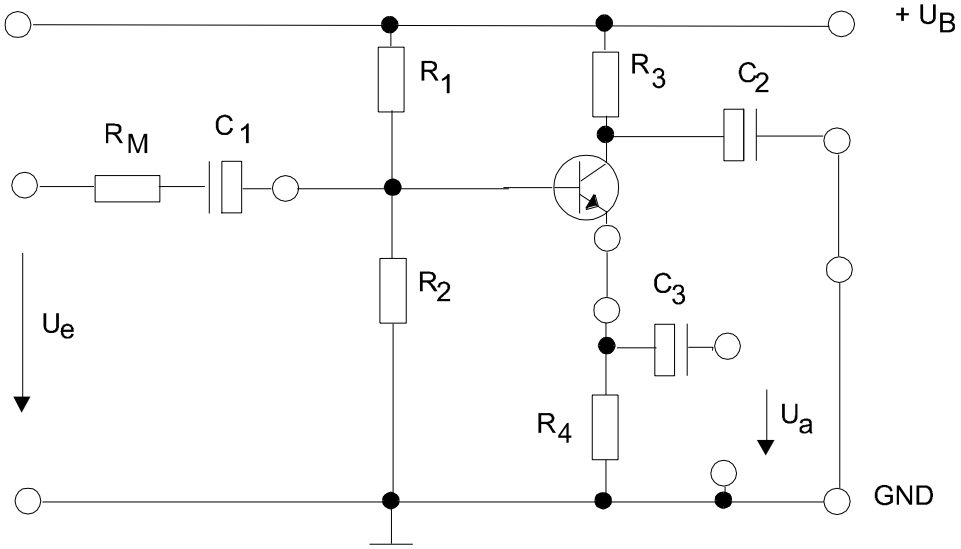


Bild 6: Schaltung 5 – Kollektorschaltung
U_B =15 V, C_1 = C_3 = 220 µF, C_2 = 100 µF,
R_1 = 8200 Ω, R_2 = 1000 Ω, R_3 = 220 Ω, R_4 = 12 Ω, R_L = 22 Ω, R_M = 100 Ω

Wechselstromeigenschaften: Legen Sie an den Eingang der Schaltung wieder das Sinus-Signal, 1 kHz , 50 mV_{SS} und messen Sie entsprechend 4.2.1 die für das Arbeitsblatt benötigten Größen. Als Lastwiderstand verwenden Sie R_L = 22 Ω.

5. Verwendete Geräte

Oszilloskop Tektronix TDS 210
Digitalvoltmeter (DV) Fluke Typ 83/V , 87/III, 179
Labornetzgerät Hameg HM7042-5
Funktionsgenerator Hameg HM8131-2
Versuchsplatine Transistor
Transistor 2N2219A

6. Literaturhinweise

Tietze/Schenk
Halbleiterschaltungstechnik
Springer Verlag
ISBN 3-540-42849-6

E. Hering, K. Bressler,
J. Gutekunst
Elektronik für Ingenieure
Springer Verlag
ISBN 3-540-24309-7

Gebrauchsanleitung
Fluke Typ 83/V

Gebrauchsanleitung
Tektronix TDS 200 Series

Gebrauchsanleitung Funktionsgenerator
Hameg HM8131-2

Datenblätter
2N2219A Motorola oder
2N2219A Philips

Interessante Links:
Datenblätter
www.alldatasheet.com

Basteleien, Grundlageninfos und Tipps
www.dieelektronikerseite.de

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 5
Arbeitsblatt

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Tabelle 1

	Einstellen		Messen	aus den Messwerten berechnet	Messen		aus den Messwerten berechnet	Messen		aus den Messwerten berechnet
	f 1/kHz	u_e 1/mV_{SS}	u_{RM}	i_e	u_a	u_{aL}	i_a	f_u	f_o	f_T
Emitter										
Emitter m. Gegenkopplung										
Kollektor										

Tabelle 2

	r_{ein}		r_{aus}		v_u		v_i		v_p	
	aus den Messwerten berechnet	theoretisch	aus den Messwerten berechnet	theoretisch	aus den Messwerten berechnet	theoretisch	aus den Messwerten berechnet	theoretisch	aus den Messwerten berechnet	theoretisch
Emitter										
Emitter m. Gegenkopplung										
Kollektor										

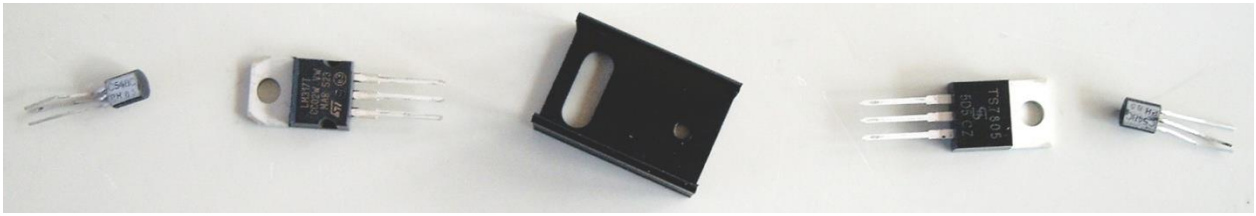
Version 1.5
Stand SS 2010

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 6, Teil 1

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Der Differenzverstärker



1. Lernziel

Der sechste Versuch ist in 2 Teile gegliedert. Im ersten Teil dieses Versuches machen Sie sich mit Aufbau, Wirkungsweise und Eigenschaften eines Differenzverstärkers vertraut.

2. Vorbereitung

Folgende Begriffe sollen Sie erklären können:

- Differenzverstärkung v_D
- Gleichtaktverstärkung v_{GL}
- Gleichtaktunterdrückung CMRR, G
- Frequenzgang des Differenzverstärkers

- Berechnen Sie den Spannungsabfall an den Kollektorwiderständen bei einem Kollektorstrom I_C von 2,5 mA. Setzen Sie bei Ihren Berechnungen für die Transistoren ß = 375, r_{BE} = 4,5 kΩ ein.
- Berechnen Sie die Differenzverstärkung v_D der Schaltung. (Die Formel entnehmen Sie z.B. dem Vorlesungsskript.)
- Machen Sie eine Aussage zur unteren Grenzfrequenz der Schaltung

3. Aufgaben

3.1. Arbeitspunkteinstellung

Bauen Sie die Schaltung gemäß Bild 4 auf.

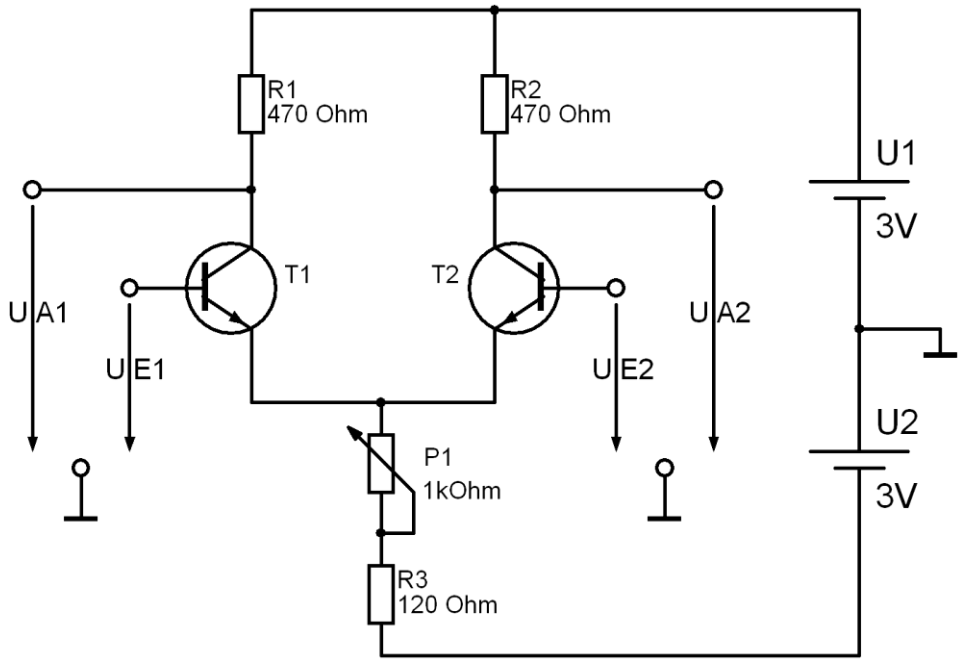


Bild 4: Diskrete Differenzverstärkerschaltung

Version 1.5
Stand SS 2010

Als T1 und T2 kommen Transistoren vom Typ BC548C zum Einsatz. Wie Sie im Versuch 5 ermittelt hatten, sind die Betriebsparameter von Transistoren stark temperaturabhängig. Um den Temperaturfehler möglichst gering zu halten, wurden die beiden Transistoren mittels eines wärmeleitenden Klebstoffes gepaart, so daß sie sich möglichst gleichmäßig erwärmen.

Messen Sie den Spannungsabfall an einem der Kollektorwiderstände und stellen Sie mit dem Potentiometer P_1 den Arbeitspunkt auf I_C = 2,5 mA ein. Legen Sie dazu beide Eingänge auf Masse!

Messen Sie nun die Spannungen U_{R1}, U_{R2}, U_{CE1}, U_{CE2}, U_{RE}, und berechnen Sie I_{C1}, I_{C2} und R_E.

I_{C1} = _____ I_{C2} = _____ I_{C1} / I_{C2} = _____ R_E = _____

Das Verhältnis der Kollektorströme soll zwischen 0,90 und 1,10 liegen. Ist das nicht der Fall, wählen Sie ein anderes Transistorpaar.

3.2. Verhalten bei Differenzsignalen

Nehmen Sie die Aussteuerungskennlinien U_{A1}= f(U_{E1}) und U_{A2}= f(U_{E1}) mit einer Gleichspannung zwischen - 200 mV und + 200 mV auf und stellen Sie sie grafisch dar. Legen Sie dazu U_{E2} an Masse. Wegen der geringen Spannungen und der damit auftretenden Einstellschwierigkeiten am Netzgerät empfiehlt es sich, den auf der Platine vorhandenen Spannungsteiler von 1980 Ω : 22 Ω wie auf Bild 5 gezeigt zu verwenden.

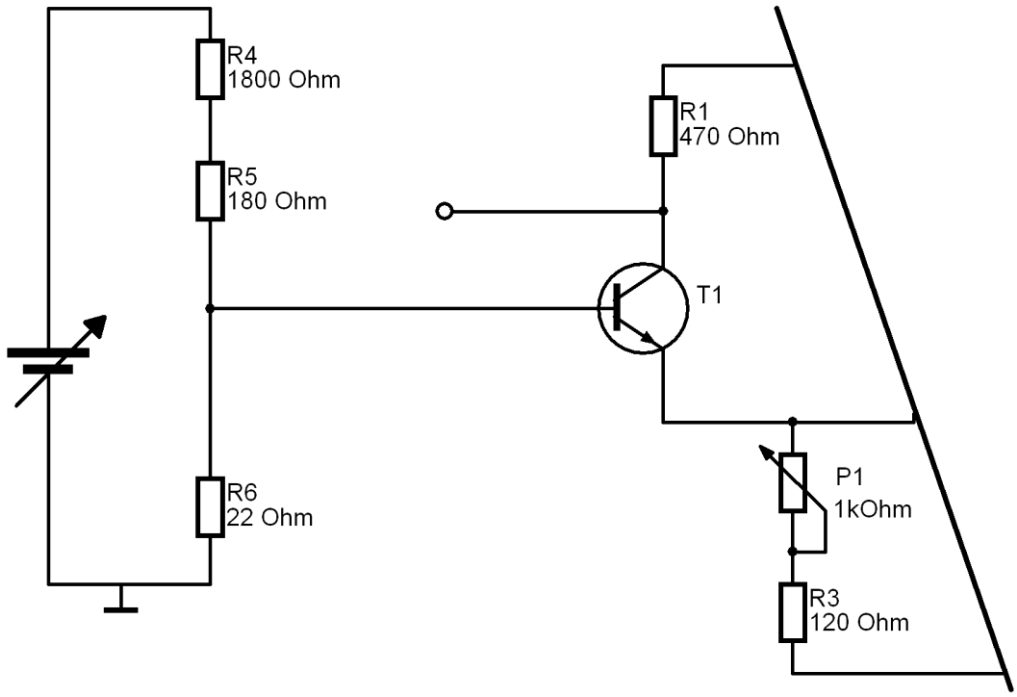


Bild 5: Spannungsteiler am Eingang – es ist nur der Eingangskreis der Schaltung dargestellt

Entnehmen Sie dem Diagramm U_A = f(U_E) bis zu welchen Eingangsspannungen die Stufe noch linear arbeitet.

Bestimmen Sie nun die Wechselspannungsdifferenzverstärkung v_D mit dem Oszilloskop. Mit dem Oszilloskop kann bekanntlich nur gegen Masse gemessen werden. Daher müssen Sie auch U_{E2} an Masse legen. Als Eingangssignal soll eine Sinus-Spannung von 20 mV / 1kHz eingespeist werden. Vergleichen Sie den Wert mit dem theoretisch ermittelten.

3.3. Gleichtaktverstärkung und Gleichtaktunterdrückung

Im Gleichtaktmodus (U_{E1} mit U_{E2} verbinden $\Rightarrow U_{E1} = U_{E2}$) ist die Aussteuerungskennlinie $U_{A1} = f(U_{E1})$ und $U_{A2} = f(U_{E1})$ mit einer Gleichspannung zwischen - 200 mV bis + 200 mV aufzunehmen und grafisch darzustellen.

Auch hier sollte wegen der geringen Spannungen und der damit auftretenden Einstellschwierigkeiten am Netzgerät der auf der Platine vorhandene Spannungsteiler von 1980 Ω : 22 Ω wie auf Bild 5 gezeigt verwendet werden.

Messen Sie die Gleichtaktverstärkung v_{GL} mit einem sinusförmigen Eingangssignal von 0,6 V / 1 kHz und berechnen Sie die Gleichtaktunterdrückung.

$$\mathbf{CMRR = 20\ dB \bullet \log (v_D / v_{GL})}$$

4. Verwendete Geräte

Oszilloskop Tektronix TDS 210
Funktionsgenerator Hameg 8131-2
Labornetzgerät Hameg 7042-5
Digitalvoltmeter (DV) Fluke Typ 83/V , 87/III, 179
Versuchsplatine Differenzverstärker
Transistor BC548C

5. Literaturhinweise

Tietze/Schenk
Halbleiterschaltungstechnik
Springer Verlag
ISBN 3-540-42849-6

E. Hering, K. Bressler,
J. Gutekunst
Elektronik für Ingenieure
Springer Verlag
ISBN 3-540-24309-7

Gebrauchsanleitung
Fluke Typ 83/V

Gebrauchsanleitung
Tektronix TDS 200 Series

Gebrauchsanleitung
Hameg 8131-2

Gebrauchsanleitung
Hameg 7042-5

Datenblätter
BC548 von Fairchild Semiconductor

Interessante Links:
Datenblätter
www.alldatasheet.com

Basteleien, Grundlageninfos und Tipps
www.dieelektronikerseite.de

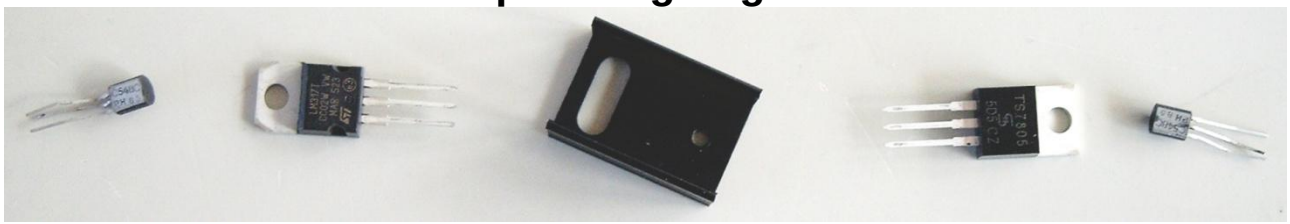
Grundlageninfos
www.das-elko.de

Prof. Dr. H. Kühle
Dipl.-Ing. J.-C. Böhmke
Fakultät Life Sciences

Praktikum Elektronik 1
Versuch 6, Teil 2

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Science

Spannungsregler



1. Lernziel

Im zweiten Teil des Versuches machen Sie sich mit den Eigenschaften von einfachen Spannungslängsreglern vertraut. Ein Spannungsregler formt eine in ihrem Wert schwankende Eingangsspannung U_e (wie z.B. die stark lastabhängige Ausgangsspannung des Vollweggleichrichternetzteils aus Versuch 4) in eine konstante Ausgangsspannung U_a um.

2. Vorbemerkungen

Wichtig: Bringen Sie Ihre Versuchsunterlagen zum Versuch 4 mit !

Spannungslängsregler werden in vielen Varianten für feste und einstellbare Ausgangsspannungen angeboten. Sie haben insbesondere in der hier vorgestellten integrierten Bauform wegen ihrer einfachen Handhabung eine weite Verbreitung.

Spannungsregler bestehen im einfachsten Fall aus einer Spannungsreferenz (z.B. Z-Diode), einem Differenzverstärker und einem Transistor als Stellglied.
Während die ungeregelte Eingangsspannung U_e sich z.B. lastabhängig verändert, wird die Ausgangsspannung U_a durch den geregelten Transistor konstant gehalten. Der Transistor fungiert hierbei als einstellbarer Widerstand und bildet zusammen mit der Last einen Spannungsteiler. Erhöht sich die Eingangsspannung U_e, so tritt am Differenzverstärker eine Spannungsdifferenz zwischen der Spannung U_a und der Referenz-spannung auf. Diese Differenzspannung wird invertierend verstärkt. Dadurch wird der Basisstrom des Transistors verringert, der differentielle Kollektor-Emitter-Widerstand r_{CE} erhöht sich und der Spannungsabfall am Transistor wird vergrößert, bis die Differenzspannung am Eingang des Verstärkers U_{dif} gegen 0V geht.

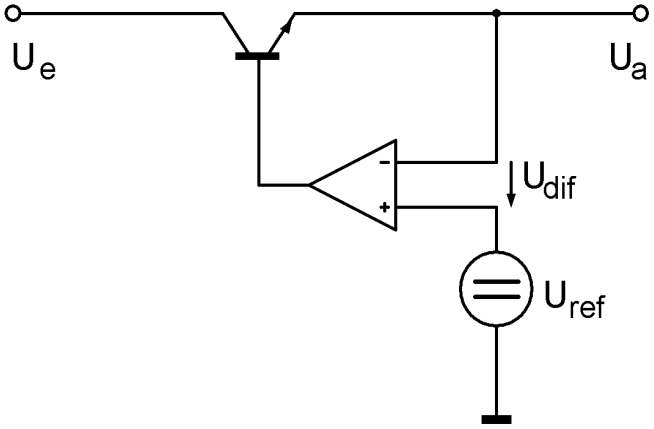


Bild 1: Schematischer Aufbau eines Spannungslängsreglers

Ein großer Nachteil dieser Schaltung liegt in ihrem schlechtem Wirkungsgrad: Insbesondere bei hohen Differenzen zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung sowie bei hohen Lastströmen entstehen am Transistor hohe Verlustleistungen, die in Form von Wärme abgeführt werden müssen.

Energetisch effizienter sind in diesen Fällen Schaltregler, die sie in Elektronik II kennen lernen werden.

Version 1.5
Stand WS 2010 / 2011

3. Vorbereitung

Es soll mit dem einstellbaren Spannungsregler LM317 eine Ausgangsspannung zwischen 2 V und 7 V geregelt werden. Entwerfen Sie für die im Werteblatt für Ihre Gruppe angegebene Spannung die Beschaltung nach den Angaben im Datenblatt. Vervollständigen Sie das Schaltbild Nr. 2. Berechnen Sie für einen Laststrom von 100 mA und eine Eingangsspannung von 10 V die entstehende Verlustleistung. Werden Sie einen externen Kühlkörper zum Abführen der Verlustleistung benötigen?

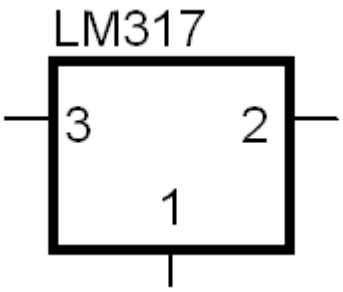


Bild 2: Beschaltung des Spannungsreglers LM317

R_2 =_____ P_V =_____ ϑ =_____

Es wird ein / kein Kühlkörper benötigt.

Machen Sie sich weiterhin mit der Beschaltung des Festspannungsreglers µA7805 vertraut und vervollständigen Sie das Schaltbild Nr. 3. Als Versorgung sehen Sie die Vollweggleichrichterschaltung aus Versuch 4 vor.

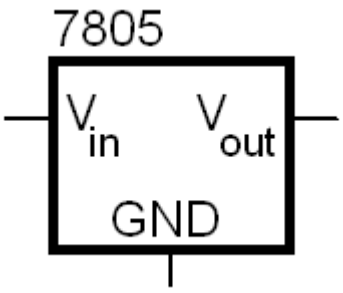


Bild 3: Beschaltung des Spannungsreglers µA7805

4. Aufgaben

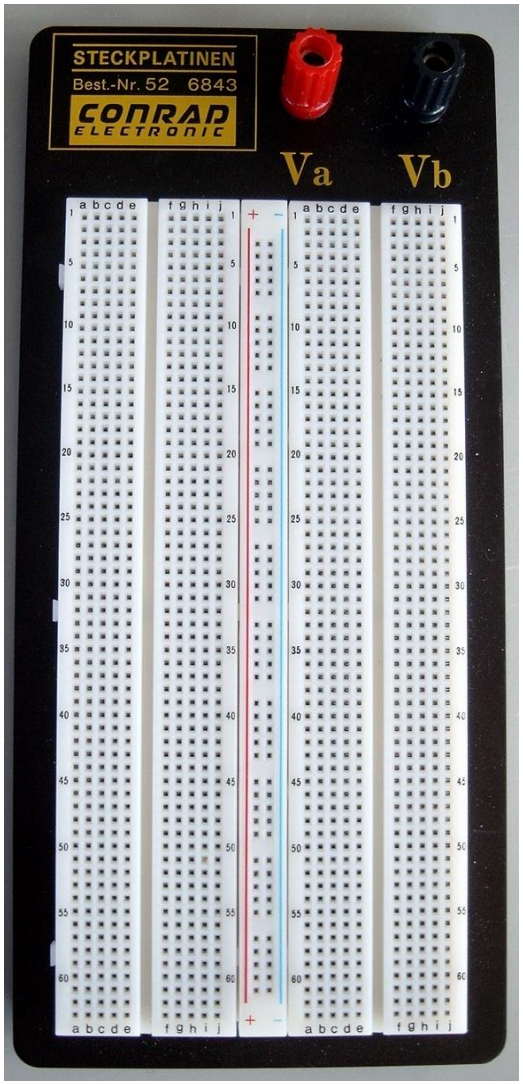


Bild 6: Steckbrett

Für den Aufbau der von Ihnen entworfenen Schaltungen stehen Ihnen die unten abgebildeten Steckbretter zur Verfügung. Die rot und blau markierten Versorgungsschienen sind vertikal verbunden;

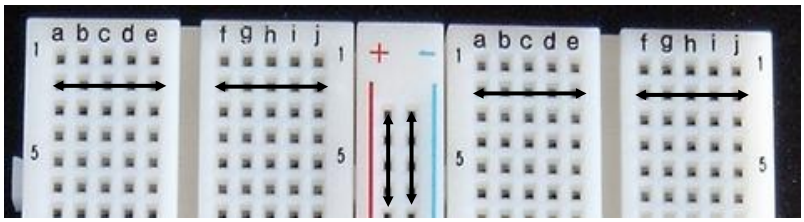


Bild 7: Ausrichtung der Verbindungsstreifen

im weißen Bereich sind die Schienen von a bis e sowie von f bis j horizontal verbunden. In vertikaler Richtung sind diese Schienen voneinander isoliert.

4.1. Einstellbarer Spannungsregler LM317

Bauen Sie Ihre Schaltung gemäß Bild 2 auf. Schließen Sie eine Versorgungsspannung von 10 V und einen Belastungswiderstand von 220 Ω an. Messen Sie U_E, I_E, U_A und I_A und berechnen Sie den Wirkungsgrad des Reglers.

4.2. Festspannungsregler µA7805

Bauen Sie Ihre Schaltung gemäß Bild 3 auf. Schließen Sie als Versorgung die Vollweggleichrichterschaltung mit Glättungskondensator aus Versuch 4 an.

Untersuchen Sie dieses geregelte Netzteil hinsichtlich seines Lastverhaltens. Variieren Sie hierzu den Lastwiderstand R_L = 1 kΩ, 470 Ω, 220 Ω, 100 Ω. Messen Sie U_e, $U_{e\ Brumm}$, U_a sowie $U_{a\ Brumm}$ und berechnen Sie die Welligkeit vor und hinter dem Spannungsregler.

R_L / Ω	U_e / V	$U_{e\ Brumm}$ / V	W_e	U_a / V	$U_{a\ Brumm}$ / V	w_a
1000						
470						
220						
100						

5. Verwendete Geräte

Oszilloskop Tektronix TDS 210
Funktionsgenerator Hameg 8131-2
Labornetzgerät Hameg 7042-5
Digitalvoltmeter (DV) Fluke Typ 83/V , 87/III, 179Digitalvoltmeter (DV) Fluke Typ 83/V , 87/III, 179
Steckbrett
Spannungsregler µA7805, LM317

6. Literaturhinweise

Tietze/Schenk
Halbleiterschaltungstechnik
Springer Verlag
ISBN 3-540-42849-6

E. Hering, K. Bressler,
J. Gutekunst
Elektronik für Ingenieure
Springer Verlag
ISBN 3-540-24309-7

Gebrauchsanleitung
Fluke Typ 83/V

Gebrauchsanleitung
Tektronix TDS 200 Series

Gebrauchsanleitung
Hameg 8131-2

Gebrauchsanleitung
Hameg 7042-5

Datenblätter

LM317	von ON Semiconductor
µA7805	von Texas Instruments

Interessante Links:

Datenblätter
www.alldatasheet.com

Basteleien, Grundlageninfos und Tipps
www.dieelektronikerseite.de

Grundlageninfos
www.das-elko.de